Technical Sciences
Van Mourik Broekmanweg 6
2628 XE Delft
Postbus 49
2600 AA Delft

www.tno.nl

T +31 88 866 30 00
F +31 88 866 30 10
infodesk@tno.nl

TNO-rapport

TNO 2013 R11051

Deskundigenrapport toepassing en inspectie van roestvaststaal (RVS) in zwembaden

Datum	20 september 2013
Auteur(s)	Prof.Dr. R.B. Polder Prof.Ir. H.H. Snijder (TU/e) Met bijdragen van (allen TNO): Ir. H. Borsje Ir. E. Huibregtse Ing. E. Reddering Dr. Ir. R. Steenbergen Dr. Ir. IJ. van Straalen
Exemplaarnummer	TNO-060-DTM-2013-01928
Oplage	
Aantal pagina's	49 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	2
Opdrachtgever	Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties Directie Bouwen T.a.v. de heer M. Balk Postbus 20011 2500 EA DEN HAAG
Projectnaam	Project RVS zwembaden
Projectnummer	060.02017

Inhoudsopgave

Bijlage(n)

1 Management Samenvatting

Dit deskundigenrapport beschrijft de toepassing en inspectie van roestvaststaal (RVS) in zwembaden. Dit is een actueel onderwerp door recente schadegevallen en ongelukken.
NEN heeft het initiatief genomen om de NCC "Praktijkrichtlijn voor inspectie en onderhoud van ophangconstructies, bevestigingsmiddelen en voorzieningen in overdekte zwembaden" uit 2004 te willen herzien en uitgeven als NPR. Dit initiatief wordt ondersteund door het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijks-relaties (BZK).

In dit deskundigenrapport komen de volgende aspecten aan de orde:
- een literatuuronderzoek;
- hoe de constructieve veiligheid van RVS-constructieonderdelen is geregeld vanuit de Woningwet en het Bouwbesluit en de daarin aangewezen constructienormen, NEN-EN 1993-1-4 en NEN 8700;
- hoe de duurzame veiligheid van niet-resistent RVS kan worden aangetoond overeenkomstig NEN 8700;
- hoe de duurzame veiligheid van resistent RVS kan worden aangetoond overeenkomstig NEN-EN 1993-1-4;
- een statistische beschouwing over de aan te houden steekproefgrootte bij inspectie van RVS-onderdelen;
- een beschouwing over de wijze van inspecteren (visueel, beproeving);
- een inspectiemethodiek voor de beoordeling van RVS in zwembaden bij bestaande bouw en bij nieuwbouw .

Diverse (constructie)onderdelen in zwembaden kunnen zijn opgehangen door middel van elementen van roestvaststaal (RVS). Dit betreft bv. verlaagde plafonds, ventilatiekanalen, lampen en luidsprekers. RVS is een familie van staallegeringen, waarvan sommige gevoelig zijn voor het verschijnsel spanningscorrosie, waardoor plotselinge breuk kan optreden. De atmosfeer van zwembaden is door het gebruik van desinfecteringsmiddelen op basis van chloor agressief voor de meest gebruikelijke soorten RVS, o.a. aangeduid als 304 en 316, die daarom niet-resistent worden genoemd. Dergelijk materiaal vertoont al zichtbare corrosie enige tijd voordat spanningscorrosie optreedt. Andere, hogergelegeerde, RVS soorten zijn niet gevoelig voor (spannings)corrosie in de zwembadatmosfeer, de zogenoemde resistente soorten, aangeduid met 1.4529, 1.4547, 1.4565.

In de huidige normen wordt het onderscheid tussen beide groepen RVS duidelijk gemaakt: alleen de resistente soorten zijn toegestaan voor gebruik in dragende elementen in de zwembadatmosfeer. Dit geldt zonder meer voor nieuw aan te brengen dragende elementen in zwembaden. Op grond van de normen is het wel nodig deze elementen te inspecteren; hiervoor wordt een interval van drie jaar aanbevolen.

Het is mogelijk dat in bestaande zwembaden dragende elementen van niet-resistent RVS aanwezig zijn. Daarom moeten alle zwembaden hierop worden geïnspecteerd als de laatste inspectie langer dan 6 maanden geleden is uitgevoerd. Indien niet-resistent RVS aanwezig is, is vervanging door resistent RVS of andere

beschermde metalen dringend nodig. Indien niet wordt vervangen moet op de aanwezigheid van corrosie worden gecontroleerd. Indien corrosie aanwezig is, moet worden afgekeurd en moeten passende maatregelen worden getroffen om ongelukken te voorkomen, zoals het aanbrengen van een tweede draagweg, het afzetten van gedeelten van het zwembad of in het uiterste geval sluiting van het zwembad. Indien geen corrosie is aangetroffen moet op een termijn van maximaal zes maanden opnieuw worden geïnspecteerd. De kans dat binnen zes maanden corrosie tot ontwikkeling komt die tot bezwijken kan leiden is zeer klein, en wel zo klein dat wordt voldaan aan de bouwregelgeving. De termijn van zes maanden is vastgesteld op basis van het beeld van het schademechanisme in de beschikbare wetenschappelijke literatuur.

RVS onderdelen in andere delen van een zwembad, met name waar het RVS in direct contact staat met het zwembadwater of waar het materiaal regelmatig nat wordt door spattend water of reiniging, zijn niet gevoelig voor spanningscorrosie. Daarom zijn de standaard soorten RVS hier wel geschikt.

2 Inleiding

2.1 Vraagstelling

Het onderwerp van dit deskundigenrapport, de toepassing en inspectie van roestvaststaal (RVS) in zwembaden, is een actueel onderwerp door recente schadegevallen en ongelukken.
NEN heeft het initiatief genomen om de NCC-Praktijkrichtlijn voor inspectie en onderhoud van ophangconstructies, bevestigingsmiddelen en voorzieningen in overdekte zwembaden [NCC 2004] te willen herzien en uitgeven als NPR. Dit initiatief wordt ondersteund door het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (BZK). Zie Bijlage A voor de inhoudsopgave van [NCC 2004].
In het kader van de NPR-ontwikkeling is er behoefte aan een deskundigenrapport over de toepassing en inspectie van RVS in zwembaden. In dit deskundigenrapport komen de volgende aspecten aan de orde:

- een analyse van beschikbare publicaties over RVS in zwembaden (literatuuronderzoek), waarbij vooral wordt gekeken naar publicaties van na 2004, er van uitgaande dat de NCC-publicatie gebaseerd is op publicaties van voor 2004;
- een beschrijving hoe de constructieve veiligheid van RVS-constructieonderdelen is geregeld vanuit de Woningwet en het Bouwbesluit en de daarin aangewezen constructienormen (met name NEN-EN 1993-1-4 en NEN 8700);
- een beschrijving hoe de duurzame veiligheid van niet-resistent RVS kan worden aangetoond overeenkomstig NEN 8700;
- een beschrijving hoe de duurzame veiligheid van resistent RVS kan worden aangetoond overeenkomstig NEN-EN 1993-1-4;
- een statistische beschouwing over de aan te houden steekproefgrootte bij inspectie van RVS-onderdelen;
- een beschouwing over de wijze van inspecteren (visueel, beproeving);
- een inspectiemethodiek voor de beoordeling van RVS in zwembaden op basis van bovengenoemde analyse, beschrijvingen en beschouwingen.

Het deskundigenrapport zal door het ministerie van BZK ter beschikking worden gesteld aan NEN voor het opstellen van de NPR. Het deskundigenrapport kan, vooruitlopend op de NPR-publicatie, worden gepubliceerd door het ministerie.

2.2 Opdracht

BZK heeft de auteurs van dit rapport gevraagd het hierboven omschreven deskundigenrapport op te stellen. De werkzaamheden daarvoor zijn aan BZK aangeboden in TNO offerte 060-DTM-2013-00701/PRR/hns van 18 maart 2013. Hierop heeft BZK opdracht verleend in haar brief met kenmerk 2013-0000185292 van 5 april 2013.

2.3 Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgebouwd. In de volgende paragraaf wordt de achtergrond van de problematiek beschreven. In hoofdstuk 3 worden materialen en constructies (RVS) in zwembaden behandeld voor zover zij relevant zijn voor de genoemde problematiek. In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op corrosie van metalen en in het

bijzonder RVS. Hoofdstuk 5 behandelt hoe het beoordelen van de constructieve veiligheid is geregeld en hoe de verantwoordelijkheden zijn verdeeld. In hoofdstuk 6 komen de achtergronden van inspecties aan de orde inclusief mogelijkheden en beperkingen, een recent voorstel voor een inspectiesystematiek en het aspect steekproefgrootte. In hoofdstuk 7 wordt behandeld hoe een inspectiemethodiek op de in hoofdstuk 6 beschreven overwegingen bij inspecties zou kunnen worden gebaseerd. Hoofdstuk 8 geeft de conclusies uit de studie. Ten slotte worden relevante (normatieve) referenties en literatuur opgesomd.

2.4 Achtergrond en historie

Sinds de instorting van een plafond in een zwembad in Steenwijk in 2001 is bekend dat ook in de Nederlandse praktijk corrosie van metalen (RVS) in de zwembadatmosfeer tot schade en ongevallen kan leiden. In het buitenland is een dergelijke instorting al in 1985 in Uster in Zwitserland opgetreden. Het bleek hierbij te gaan om het bezwijken van austenitisch roestvaststaal (RVS) door scheurvormende spanningscorrosie. Voordien werd algemeen aangenomen dat dit fenomeen niet onder 50 °C zou kunnen optreden. Sindsdien is uit onderzoek duidelijk geworden dat de meest gebruikelijke soorten RVS (304 en 316, zie paragraaf 4.1) gevoelig zijn voor dit type corrosie.
In Nederland is een aantal inspecties uitgevoerd [Winter 2003, Stiphout 2004], waarbij bleek dat:
- gevoelige soorten RVS zijn toegepast;
- RVS onderdelen corrosie en scheurvorming vertoonden;
- en dat hierdoor bezwijken en instorting kunnen optreden.

Vervolgens is een project uitgevoerd waarin o.a. een kennisinventarisatie [Stiphout 2004] en een praktijkinventarisatie [Winter 2003] zijn uitgevoerd en tenslotte is een Praktijkrichtlijn is uitgebracht [NCC 2004].
Inmiddels is met de NCC-Praktijkrichtlijn ervaring opgedaan. De Rijksoverheid heeft een waarschuwing gegeven in 2009 in de vorm van een VROM-inspectiesignaal [VROM 2009]. Recente incidenten in Tilburg en Dordrecht zijn aanleiding geweest voor hernieuwde aandacht. Schadegevallen met RVS in Nederlandse zwembaden zijn samengevat in tabel 1. Verder is de bouwregelgeving sindsdien ingrijpend veranderd, o.a. met het uitkomen van het meest recente Bouwbesluit [BB 2012] en een aantal normen, zoals NEN-EN 1993-1-4 en NEN 8700.

Tabel 1 Schadegevallen met RVS in Nederlandse zwembaden

plaats	datum	beschrijving	Materiaal, geschiedenis
Steenwijk	10/11 juni 2001	Plafond ingestort, geen letsel	304 draadstangen, corrosie
Tilburg	1 november 2011	Luidspreker neergestort, een dode	Een jaar na inspectie, waarbij geen corrosie werd vastgesteld
Dordrecht	23/24 januari 2013	Lamp neergestort, geen letsel	Minder dan een jaar na inspectie, waarbij corrosie werd vastgesteld

Dit rapport is opgesteld om op basis van de vraagstelling de geactualiseerde stand van zaken weer te geven met betrekking tot toepassen en inspecteren van RVS in zwembaden. Het is uitdrukkelijk niet de bedoeling van dit rapport de toepassing en inspectie van andere metalen, in het bijzonder verzinkt staal, op eenzelfde niveau te behandelen.

3 Constructies en materialen in zwembaden

In dit hoofdstuk, dat is gebaseerd op tekst en waarnemingen beschreven in [NCC 2004], wordt in grote lijnen aangegeven welke metalen onderdelen zich in zwembaden bevinden die onderhevig kunnen zijn aan corrosie. Het gaat dan om de plaats in het zwembad en om de expositieomstandigheden (het milieu en zijn agressiviteit).

In dit hoofdstuk wordt een onderverdeling gemaakt in:
- vloerniveau;
- tussenniveau;
- plafondniveau.

3.1 Vloerniveau

Op vloerniveau bevinden zich in het algemeen geen ophangmiddelen waaraan onderdelen hangen die naar beneden kunnen vallen. Verder worden metalen delen op vloerniveau regelmatig bevochtigd door zwembadwater of schoongespoten, waardoor geen voor RVS agressief milieu kan ontstaan.

3.2 Tussenniveau

Hier gaat het om zichtbare onderdelen die zich tussen vloer en plafond bevinden, die als ze vallen een gevaar kunnen vormen voor bezoekers. Het milieu op tussenniveau kan agressief zijn voor RVS en andere metalen delen door transport en depositie van chloorhoudende verbindingen zonder regelmatige bevochtiging door zwembadwater of reinigingsactiviteiten, waardoor chloride kan accumuleren. Dit milieu wordt aangeduid als zwembadatmosfeer.

Typische onderdelen in het tussenniveau zijn ventilatie- of luchtkanalen. De kokers zijn ondanks forse afmetingen relatief gering in gewicht. Zij zijn dan ook meestal op een klein aantal punten opgehangen, op geruime afstand van elkaar. Soms lijken dit stevige draadstangen, maar zijn het in werkelijkheid minder stevige draadstangen waar een mantelbuis omheen zit. Draadstangen kunnen van zowel verzinkt staal als RVS zijn. Soms liggen de draadstangen binnen de koker, waardoor zij niet inspecteerbaar zijn. Luchtkanalen vormen een stijf geheel, waardoor ze niet doorbuigen als één ophangpunt is gebroken. Als er meer corroderen, kan het kanaal plotseling over een grote lengte naar beneden komen. Als de ophanging zich boven het plafond bevindt, bemoeilijkt dat de inspectie. Soms is er een tweede draagweg en waarschuwt een koker wel door vervorming bij breuk van een enkel element.

Andere voorbeelden op tussenniveau zijn een aan een muur hangende keerwand om het zwembad op wedstrijdlengte te brengen; of een isolatierol waarmee het bad ’s nachts wordt afgedekt. Ook komen doorzichtige tussenwanden voor met verbindingen in RVS.

3.3 Plafondniveau

Bij het plafondniveau gaat het om de plafonds zelf en alles wat zich daarboven bevindt. Hiertoe worden ook lampen en luidsprekers en dergelijke gerekend die onder het plafond hangen maar waarvan de ophanging zich boven het plafond bevindt. Verder gaat het hier om luchtkanalen en leidingwerk boven het plafond. Het milieu op plafondniveau kan agressief zijn voor RVS en andere metalen delen door transport en depositie van chloorhoudende verbindingen zonder regelmatige bevochtiging door zwembadwater of reinigingsactiviteiten, waardoor chloride kan accumuleren. Ook dit milieu wordt aangeduid als zwembadatmosfeer.

Bij de bouw van zwembaden zijn meestal meerdere (onder)aannemers betrokken, die elk hun eigen werkwijze en materialen gebruiken. Dit geldt o.a. voor leidingwerk, ventilatiesystemen en plafonds. Daardoor worden er binnen één zwembad vaak veel verschillende materialen aangetroffen.

Hier wordt voor de opsomming onderscheid gemaakt tussen plafonds, luchtkanalen, leidingwerk en overige.

Typen plafonds
In niet al te oude zwembaden worden bijna altijd systeemplafonds aangetroffen. Systeemplafonds bestaan uit standaard onderdelen uit de handel of rechtstreeks uit de fabriek. Zij bestaan uit: hout, metaal of platen.

Systeemplafonds bestaande uit houten latten of stalen lamellen zijn moeilijk toegankelijk voor inspectie. Meestal moeten inspectieluiken worden gemaakt. Latten- en lamellenplafonds tonen geen gebreken vooraf (waarschuwen niet) als er iets mis is met de ophanging.

Ophangsystemen plafonds
Bij inspectie overwegend zijn drie ophangsystemen aangetroffen: snelhangers, noniushangers en draadhangers; soms andere typen.

Snelhangers bestaan uit twee draden en een verbindingsclip. Draden en clips kunnen zowel in verzinkt staal als RVS zijn uitgevoerd. Snelhangers nemen alleen trekkrachten op. Clips van standaard RVS, hoewel in beperkte mate aangetroffen, vertoonden vaak scheurvorming door spanningscorrosie. Verzinkte clips hebben vaak een geringe zinklaagdikte.

Noniushangers kunnen ook druk opnemen, bijv. om “balvaste” plafonds te maken. Ze bestaan uit drie delen: boven, onder en de verbinding. Het bovenste en onderste deel zijn gemaakt van sendzimir verzinkte staalplaat. Hierbij is in het verleden geen zware corrosie aangetroffen. Als verbindingsmiddel hoort een speciale stalen pen te zijn gebruikt. In plaats hiervan zijn spijkers en schroeven aangetroffen; die vertoonden soms corrosie.

Omgebogen draad voor hangers heeft ongeveer dezelfde diameter als dat van snelhangers. Voordeel is de lagere prijs, nadeel is dat er geen stelmogelijkheid is. Draad is een enkele keer aangetroffen in RVS, meestal als verzinkt staal (meestal niet geroest aangetroffen).

Soms zijn andere typen plafondophangingen toegepast. Meestal zijn dat ter plaatse gemaakt houten plafonds. Aangetroffen zijn houten latten, gevouwen staalplaat en wapeningsstaal. Gevaarlijke situaties zijn mogelijk bij RVS schroeven of verzinkt staal met geringe laagdikte.

Luchtkanalen zijn in twee uitvoeringen aangetroffen:
- met gips afgewerkte glasvezelplaten;
- uit verzinkte staalplaat gevouwen kokers.

Rechthoekige kokers zijn meestal ondersteund met een horizontale metalen montagerail of met een voorgeperforeerd profiel (een soort “rekstokconstructie”). De rekstok is aan de einden met draadeinden aan de dakconstructie opgehangen, met draadeinden in zowel RVS als verzinkt staal. Ronde kokers worden vaak aan één punt opgehangen. Meestal wordt hierbij gebruik gemaakt van pijpbeugels of van metalen klembanden die van een coating zijn voorzien. De pijpbeugels of klembanden zitten met draadeinden aan de dakconstructie vastgemaakt. Ook dan komen draadeinden in zowel RVS als verzinkt staal voor.

Leidingwerk hangt meestal aan verzinkte draden of draadeinden. De zinklaag verkeerde bij inspecties bijna altijd in goede conditie. De bevestigingspunten zijn vaak minder goed of niet verzinkt en kunnen in de zwembadatmosfeer een probleem vormen. Dit soort elementen wordt vaak in andere toepassingen gebruikt zoals kantoren, en zij zijn daardoor ruim voorhanden. Goed verzinkt en gecoat materiaal is nodig om snelle aantasting te vermijden.

Lampen en luidsprekers kunnen zijn opgehangen met behulp van diverse metalen elementen: draden, kettingen, (borg)bouten, moeren, rails, etc. Als deze onderdelen zijn uitgevoerd in standaard RVS zijn zij gevoelig voor (spannings)corrosie. Door het geringe aantal elementen van één soort zijn en het relatief hoge gewicht van lampen en luidsprekers zijn dergelijke constructies risicovol.

4 Corrosie van RVS in zwembaden

4.1 Vormen van corrosie bij RVS

Dit overzicht is overgenomen uit [Stiphout 2004] en vervolgens bewerkt en geactualiseerd op basis van literatuur.

De term RoestVastStaal (RVS) wordt gebruikt voor een groep ijzerlegeringen die voornamelijk chroom (Cr) en nikkel (Ni) als legeringselementen bevatten. Het chroom zorgt er voor dat in waterige milieus met zuurstof een chroom-rijke oxidelaag wordt gevormd van enkele nanometers dik. Deze laag maakt RVS passief, waarbij geen corrosie optreedt. De oxidelaag kan worden doorbroken door mechanische en chemische oorzaken, binnen de laatste vooral door chloride-ionen. Bij voldoende zuurstof kan herstel van de passivering optreden.

RVS is in veel toepassingen aantrekkelijk, o.a. door de duurzaamheid, reinigbaarheid en uitstraling. RVS soorten kunnen op basis van de microstructuur als volgt worden ingedeeld:

- ferritisch/martensitisch RVS, bevat naast ijzer alleen Cr en de corrosieweerstand van dit materiaal is beperkt;
- duplex RVS, bevat naast Cr ook wat Ni, waardoor een mengsel van ferriet en austeniet ontstaat met een hoge rekgrens en een goede corrosieweerstand;
- austenitisch RVS ontstaat als naast Cr ook voldoende Ni aanwezig is (bijvoorbeeld 18-8 chroomnikkelstaal met 18 massa% chroom en 8% nikkel) wat de corrosieweerstand relatief hoog maakt, vooral als ook molybdeen (Mo) en stikstof (N) zijn toegevoegd.

Volledige identificatie van RVS is alleen mogelijk op basis van samenstelling. Methoden die zich lenen voor het ter plaatse bepalen van de samenstelling zijn röntgenfluorescentie spectrometrie (in het Engels X-ray Fluorescence Spectometry, XRF) en Optische Emissie Spectrometrie (OES). Voor het onderscheiden van roestvaststaal soorten voor toepassing in zwembaden kan in het algemeen worden volstaan met een semi-kwantitatieve bepaling van de belangrijkste legeringselementen als chroom, nikkel en molybdeen. Hiervoor volstaat apparatuur voor Positieve Materiaal Identificatie (PMI) op basis van röntgenfluorescentie spectrometrie (XRF). Hiervoor is draagbare apparatuur beschikbaar (zie verder de hoofdstukken 6 en 7).

In het verleden is wel detectie met behulp van een magneet gebruikt. Koolstofstaal en ferritisch RVS is sterk respectievelijk zwak (ferro-)magnetisch, austenitisch RVS in het algemeen niet. Uitzonderingen hierop zijn mogelijk, bijvoorbeeld wanneer de samenstelling of deformatie van sommige austenitische RVS soorten toch tot zwak tot matig ferromagnetisme leidt. Het al of niet blijven plakken van een magneet zegt dus niet zoveel. Enerzijds betekent niet plakken het detecteren van een austenitische RVS soort; echter, sommige austenitische RVS soorten zijn bestand tegen zwembadmilieu en andere niet (zie verder). Anderzijds betekent blijven plakken dat het om koolstofstaal kan gaan of om ferritisch RVS of toch om een austenitische RVS soort. Magnetisch onderzoek is daarmee niet ondubbelzinnig

diagnostisch voor de soort staal en daarom niet geschikt voor het gewenste kritische onderzoek.

De naamgeving van RVS soorten is in Europa geregeld in EN 10088-2 en is in hoofdzaak op samenstelling gebaseerd, zie Tabel 2. Veel soorten zijn ook bekend onder Amerikaanse (AISI) aanduidingen, die soms echter andere en ruimere specificaties hebben.

Sommige Amerikaanse benamingen worden veel gebruikt, vooral die voor de gangbare austenitische RVS soorten 304 en 316; de Europese benamingen zijn respectievelijk 1.4301 en 1.4401/1.4436 (voor 316L ook 1.4404, 1.4435). Enkele andere soorten waarvoor ook vaak Amerikaanse benamingen worden gebruikt zijn de superaustenieten 904L (1.4539), 254 SMO (1.4547 ofwel UNS S31254).

Tabel 2. Overzicht van gangbare RVS soorten met hoofdelementen (samenstelling op ijzerbasis in massa %, waar mogelijk volgens EN 10088-2)

USA / UNS	EN 10088-2	% C	% Cr	% Ni	% Mo	Overige	PRE
Ferritisch/ martensitisch							
AISI 410	1.4006	0,08-0,12	12,0-14,0	-	-	-	12,0-14,0
AISI 430	1.4016	≤0,08	15,5-17,5	-	-	-	15,5-17,5
AISI 443	-	≤0,20	18,0-23,0	≤0,50	-	Cu	-
Austenitisch							
AISI 201	1.4371	≤0,15	17,0-19,0	4,0-6,0	-	Mn, N	-
AISI 303	1.4305	≤0,12	17,0-19,0	8,0-10,0	-	P, S	-
AISI 304	1.4301	≤0,07	17,0-19,5	8,0-10,5	-	-	17,0-19,5
AISI 304L	1.4307	≤0,03	17,5-19,5	8,0-10,0	-	-	17,5-19,5
AISI 321	1.4541	≤0,08	17,0-19,0	9,0-12,0	-	Ti	17,0-19,0
AISI 316	1.4401	≤0,07	16,5-18,5	10,0-13,0	2,0-2,5	-	23,1-26,8
AISI 316	1.4436	≤0,07	16,5-18,5	11,0-14,0-	2,5-3,0	-	24,8-28,4
AISI 316L	1.4404	≤0,03	16,5-18,5	10,0-13,0	2,0-2,5	-	23,1-26,8
AISI 316L	1.4435	≤0,03	17,0-18,5	12,5-15,0	2,5-3,0	-	25,3-28,4
AISI 316Ti	1.4571	≤0,08	16,5-18,5	10,5-13,5	2,0-2,5	Ti	23,1-26,8
AISI 317LMN	1.4439	≤0,03	16,5-18,5	12,5-14,5	4,0-5,0	N	31,6-38,5
AISI 904L	1.4539	≤0,02	19,0-21,0	24,0-26,0	4,0-5,0	Cu, N	32,8-39,1
UNS S34565	1.4565	≤0,03	23,0-26,0	16,0-19,0	3,5-5,0	Nb, N	41,0-52,1
UNS S31254	1.4547	≤0,02	19,5-20,5	17,5-18,5	6,0-7,0	N, Cu	42,2-47,6
UNS N08926	1.4529	≤0,02	19,0-21,0	24,0-26,0	6,0-7,0	N, Cu	41,2-48,1
Duplex							
UNS 31803	1.4462	≤0,03	21,0-23,0	4,5-6,5	2,5-3,5	N	30,9-38,1

Voor bevestigingsmiddelen gelden andere aanduidingen, zie Tabel 3. Opgemerkt wordt dat in de informatieve bijlage A.4.2 bij NEN-EN1993-1-4 voor A2 t/m A5 de overeenkomstige RVS soorten worden genoemd (A1 behoort niet te zijn gebruikt voor bouten), zie tabel 4. Daarnaast wordt in bijlage A.4.2 bij NEN-EN 1993-1-4 aangegeven dat bij gebruik van bv. 1.4529 ook bouten in datzelfde materiaal behoren te worden gebruikt. Overigens geldt dat geen van de voor bouten genoemde materialen equivalent met A2 t/m A5 geschikt is voor gebruik in de zwembadatmosfeer volgens de normatieve Nationale Bijlage NEN-EN 1993-1-4 NB (zie verder).

Tabel 3. Overzicht van gangbare soorten RVS voor bevestigingsmiddelen met hoofdelementen (samenstelling op ijzerbasis in massa %, waar mogelijk volgens EN ISO 3506)

EN ISO 3506	% C	% Cr	% Ni	% Mo	% S	Overige
Austenitisch						
A1	≤0,12	16,0-19,0	5,0-10,0	≤0,7	0,15-0,35	Mn
A2	≤0,1	15,0-20,0	8,0-19,0	-	≤0,03	-
A3	≤0,08	17,0-19,0	9,0-12,0	-	≤0,03	Ti/Nb/Ta
A4	≤0,08	16,0-18,5	10,0-15,0	2,0-3,0	≤0,03	P, S
A5	≤0,08	16,0-18,5	10,5-14,0	2,0-3,0	≤0,03	Ti/Nb/Ta
Martensitisch						
C1	0,09-0,15	11,5-14	≤1	-	≤0,03	
C3	0,17-0,25	16-18	1,5-2,5	-	≤0,03	
C4	0,08-0,15	12-14	≤1	≤0,6	0,15-0,35	
Ferritisch						
F1	≤0,12	15-18	≤1	-	≤0,03	Ti/Nb/Ta

Tabel 4. Benamingen voor bouten en equivalente RVS soorten uit NEN-EN 1993-1-4 bijlage A.4.2

Aanduiding	Equivalent met
A2	1.4301
A3	1.4541
A4	1.4401 en 1.4404
A5	1.4571

De corrosieweerstand van RVS neemt toe met de gehalten chroom, nikkel, molybdeen en stikstof. De putcorrosieweerstand in chloridehoudende milieus (pitting resistance equivalent, PRE) wordt ook wel gebruikt als aanduiding voor de algemene corrosiebestandheid (zie rechterkolom in Tabel 1):

$$PRE = \%Cr + 3{,}3 * \%\ Mo + 16 * \%\ N \qquad (1),$$

Waarbij wordt opgemerkt dat sommige literatuur een factor 30 bij stikstof noemt. Dit kan de reden zijn waarom voor sommige legeringen de genoemde PRE's kunnen verschillen.

Veel RVS soorten voldoen in waterige milieus met overvloedige aanwezigheid van water. Bij extremere condities, bijvoorbeeld bij hogere temperatuur, hoge chlorideconcentraties of in sterk zure milieus kan corrosie optreden met roestvorming of scheurvorming als gevolg. Mogelijke corrosievormen zijn weergegeven in Figuur 1 en worden hierna kort behandeld.

Algemene of gelijkmatige corrosie. Dit treedt alleen op bij zeer lage zuurgraad (pH); dit komt niet voor in zwembaden.

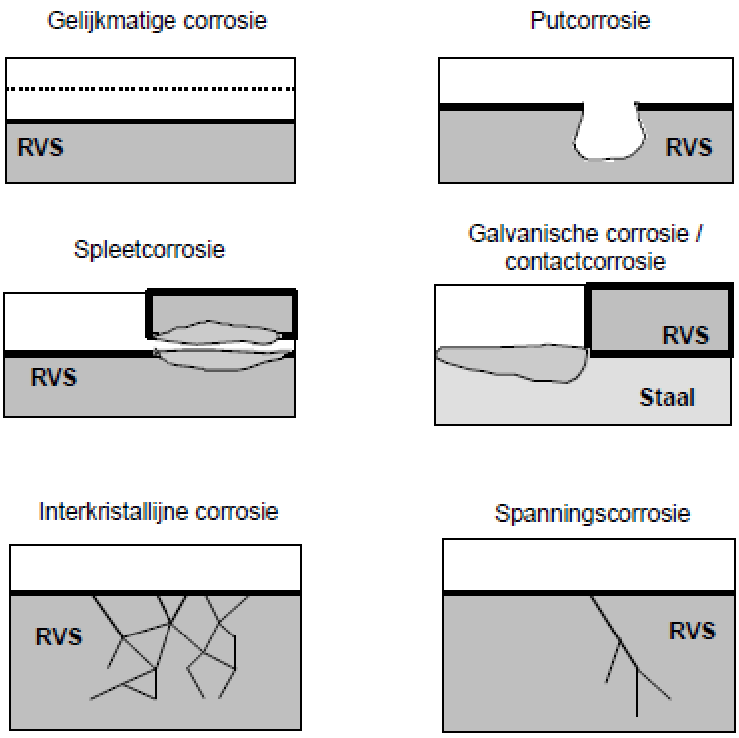
Putcorrosie. Dit betreft het lokaal doorbreken van de passivering, wat wordt bevorderd door chloride-ionen.

Spleetcorrosie. Dit kan gebeuren bij lage zuurstofconcentratie, zoals in spleten bij boutverbindingen. Chloride-ionen versterken deze vorm van corrosie.

Galvanische corrosie. Dit komt voor bij koppeling van verschillende metalen in vochtig milieu, waarbij het minst edele metaal oplost. Bij koppeling van verzinkt staal met RVS zal het zink versneld oplossen. Elektrische isolatie voorkomt dit.

Interkristallijne corrosie. Dit kan voorkomen bij austenitisch RVS na lassen. Interkristallijne corrosie kan worden voorkomen door een laag koolstofgehalte of toevoegingen die koolstof binden.

Scheurvormende spanningscorrosie (stress corrosion cracking, SCC). Hierbij ontstaan fijne scheuren die snel kunnen groeien (transkristallijn). Deze vorm van schade kan alleen optreden bij een combinatie van agressief milieu, hoge trekspanning en gevoelig staal. Chloride-ionen zijn de belangrijkste oorzaak van agressiviteit (concentratie-afhankelijk). Corrosieputten zijn vaak de plaats van dergelijke agressiviteit door de relatief lage pH en de accumulatie van chloride-ionen. De trekspanning kan hoog zijn door externe belasting maar ook door interne spanning (bijvoorbeeld door kouddeformatie of lassen). De gangbare RVS soorten 1.4301 (304) en 1.4401 (316) en aanverwanten werden in het verleden verondersteld pas boven 50 °C gevoelig voor SCC te zijn. Zij zijn echter in specifieke omstandigheden, zoals die o.a. in zwembaden voorkomen, ook gevoelig voor SCC bij een temperatuur vanaf ca. 30 °C (zie verder paragraaf 4.2).



Figuur 1. Schematisch overzicht van corrosievormen bij RVS.

4.2 Milieu en corrosie van RVS in zwembaden

Zwembadwater wordt uit overwegingen van gezondheid en hygiëne gechloreerd, bijv. door toevoeging van chloor of hypochloriet. Stikstofverbindingen uit menselijke afscheidingen (huidschilfers, zweet, urine) reageren met chloor tot vluchtige verbindingen, chlooramines (bijvoorbeeld NCl_3), die uit het water overgaan naar de zwembadatmosfeer. Hierdoor ontstaat de typische zwembadlucht. Chloor of chloride kan ook worden getransporteerd in de vorm van aerosolen of gehecht aan stofdeeltjes. Dit chloor/chloride maar ook andere stoffen waaronder metaalionen (Na, Ca, Mg) kunnen worden geabsorbeerd in de vochtfilm op metalen onderdelen boven het zwembad of daarop droog worden afgezet.

In de laatste decennia is de temperatuur van het zwembadwater hoger geworden (van 20 °C tot wel 37 °C), die van de lucht erboven is nog iets hoger dan die van het zwembadwater. Door fonteinen en watervallen is het contact tussen het water en de atmosfeer versterkt. Hierdoor is de belasting met vluchtige chloorverbindingen toegenomen. Opgemerkt wordt dat diverse factoren zowel de chloorconcentratie als de relatieve vochtigheid en het optreden van condensatie beïnvloeden, zoals ventilatie, luchtbehandeling en thermische isolatie. Hierdoor kan de corrosieve belasting per zwembad en per ruimte sterk verschillen.

In Zwitserland zijn ruim 150 zwembaden geïnspecteerd [Faller & Richner 2003]. Daarbij bleek dat in 80% van de gevallen agressieve omstandigheden aanwezig waren. Standaard RVS (304, 316) onderdelen vertoonden in 87% van de gevallen corrosie vanaf een ouderdom van enkele jaren. Eerder zijn in Duitsland 20 zwembaden geïnspecteerd [Nürnberger 1990]. In de meeste gevallen werd corrosie van standaard RVS aangetroffen, vaak ook SCC; in twee gevallen werden putcorrosie en spanningscorrosie al na twee jaar ouderdom aangetroffen. In Nederland is ook op jonge ouderdom roesten van RVS aangetroffen. In [Stiphout 2004] worden drie zwembaden gemeld van 2 jaar oud met in totaal zeven verschillende RVS-onderdelen die alle roest vertonen (zes in RVS 304, één in 316); twee vertonen (indicatie) van SCC.

Naar aanleiding van de instorting in Zwitserland in 1985 is in 1989 in Duitsland het gebruik van standaard RVS (304 en 316) verboden.

Het in de literatuur breed geaccepteerde mechanisme dat tot corrosie van RVS in zwembadatmosfeer leidt is als volgt [Oldfield 1991]. Chlooramines ontleden in de vochtfilm op het staal in stikstof, waterstofchloride (zoutzuur) en hypochloriet. Deze combinatie kan de passiveringslaag op RVS aantasten (door oxidatie van driewaardig chroom, Cr^{3+}, in het passiverende oxide naar het in water oplosbare zeswaardige chroom, Cr^{6+}); hierdoor ontstaat putcorrosie en bij hoge trekspanning ook spanningscorrosie.

Recente studies [Iversen 2007, Prosek 2009] hebben laten zien dat optreden van SCC van RVS een functie is van de samenstelling van de vloeistof op het metaal (concentratie chloride en type positieve ion (kation)), waarbij de relatieve vochtigheid (RV) een belangrijke rol speelt. Proeven met verschillende soorten RVS blootgesteld aan druppeltjes oplossingen met $CaCl_2$, $MgCl_2$ en NaCl hebben laten zien dat extreem hoge chlorideconcentraties nodig zijn om SCC op te wekken. De

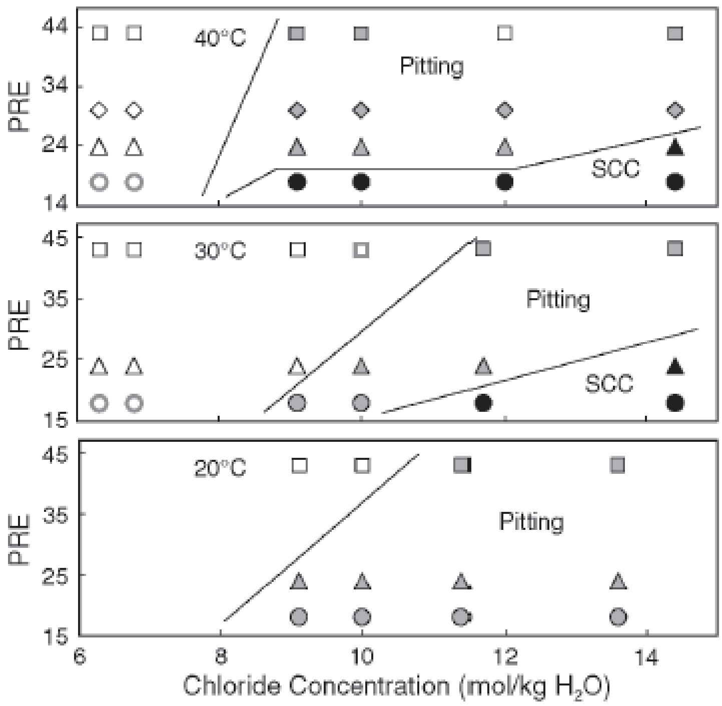
maximale chlorideconcentraties treden voor deze zouten op in een beperkt RV-gebied, rond het *deliquescence point (DP)*, de laagste RV waarbij het zout door hygroscopiciteit water aantrekt en een vloeistof vormt. Dit verschijnsel wordt vervloeien van het zout genoemd, in het Engels deliquescence; de RV waarbij dat optreedt zou in het Nederlands *vervloeipunt* kunnen heten. De maximale concentratie van een zout in de oplossing (die bij het DP) wordt bepaald door de oplosbaarheid van dat zout. Bij een RV boven het DP wordt zoveel water aangetrokken dat de oplossing wordt verdund; bij RV's onder het evenwicht ontstaat geen vloeistoffase. De DP's zijn temperatuurafhankelijk, evenals de maximale concentraties:

- voor NaCl ligt het DP bij 75% RV bij temperaturen tussen 20 en 50 °C en de maximale concentratie is steeds ca. 6 mol chloride-ionen/kg H_2O;
- voor $MgCl_2$ ligt het DP op 34% RV bij 20 °C en het DP neemt af tot 28% RV bij 50 °C en de maximale concentratie ligt rond 11-12 mol chloride-ionen/kg H_2O;
- voor $CaCl_2$ ligt het DP op 33% RV bij 20 °C en het DP neemt af tot 13% RV bij 50 °C en de maximale concentratie neemt toe met de temperatuur van 14 tot 24 mol chloride-ionen/kg H_2O.

Hieruit blijkt dat de hoogste chlorideconcentraties optreden met $CaCl_2$ en vooral bij hogere temperatuur en daarmee samenhangend een lagere RV. Met $MgCl_2$ zijn de concentraties iets lager en ligt de “kritische” RV iets hoger. NaCl leidt tot lagere maximumconcentraties, die bovendien alleen optreden bij hogere RV (ca. 75%).

In deze recente studies [Iversen 2007, Prosek 2009] zijn diverse RVS soorten onderzocht met expositieproeven, zowel in zwembaden als in het laboratorium. De hierboven gegeven beschouwing helpt om de resultaten te begrijpen. Zo zijn in Figuur 2 gebieden te zien waarin SCC, putcorrosie of geen corrosie optreedt, als functie van temperatuur en chlorideconcentratie voor verschillende RVS soorten, elk met hun eigen PRE (labonderzoek, 10 weken). Hieruit volgt dat RVS soort 304 spanningscorrosie ondergaat vanaf 9 mol Cl/kg bij 40 °C en vanaf 11 mol Cl/kg bij 30 °C. RVS 316 ondergaat spanningscorrosie bij 30 en 40 °C vanaf 14 mol Cl/kg. Soorten 904L en 254SMO ondergaan putcorrosie bij 30 en 40 °C voor concentraties vanaf 9 mol/kg, maar geen spanningscorrosie; en geen corrosie bij concentraties rond 6-7 mol/kg. Andersom, bij 20 °C treedt bij geen van de onderzochte RVS soorten spanningscorrosie op bij concentraties tot ca. 14 mol/kg. Omdat hogere concentraties dan ca. 15 mol Cl/kg met de onderzochte zouten niet mogelijk zijn, lijkt spanningscorrosie bij 20 °C dus uitgesloten. Opgemerkt wordt dat bij eerder onderzoek met dezelfde methode langere expositietijden zijn gehanteerd tot ruim een jaar; de destijds gevonden verschijnselen komen goed overeen met het hier gerapporteerde korter durende onderzoek [Mietz & Isecke 2001].

Uit deze informatie wordt afgeleid dat het optreden van putcorrosie bij hoger gelegeerde RVS soorten in principe mogelijk is. Dit geldt ook voor RVS 1.4547 (254SMO), dat volgens de moderne regelgeving resistent is tegen corrosie in zwembadatmosfeer (zie hoofdstuk 5). Hiervoor is een relatief hoog chloridegehalte nodig, bij 40ºC tenminste 9 mol Cl/kg, zie figuur 2. Het opbouwen van een zo hoge concentratie duurt lange tijd. Het resistente materiaal 1.4547 vertoont geen spanningscorrosie, ook niet bij extreem hoge chlorideconcentraties (14 mol Cl/kg).



Figuur 2. Gebieden met SCC (rechtsonder), putcorrosie (van middenonder naar rechtsboven) of geen corrosie (linksboven), als functie van de chlorideconcentratie voor drie temperaturen; symbolen stellen verschillende soorten RVS voor met op de verticale as hun PRE (Tabel 1), van onder naar boven 304 (1.4301), 316L (1.4404), 904L (1.4539), 254SMO (1.4547), uit (Prosek 2009)

Bij expositieproeven in drie zwembaden werden uiteenlopende resultaten gevonden [Iversen 2007]. Er werd na 72 weken expositie vooral putcorrosie gevonden in één zwembad met zoet water en in een zwembad met zeewater. Er werd echter geen corrosie in een ander zwembad met zoet water gevonden en in geen van de zwembaden werd SCC gevonden. De RV was gemiddeld 52 tot 69% RV met minima van 30 – 34% RV. De temperaturen in de drie baden waren vergelijkbaar (gemiddeld ca. 26 °C, met maxima van 35-39 °C). Ondanks minimum RV's rond 30% waren de omstandigheden blijkbaar niet voldoende agressief om op een termijn van ca. anderhalf jaar SCC te laten optreden. Putcorrosie trad op bij 304 en 316L, en in het zeewaterbad ook bij 904L, maar niet bij 254SMO.

Zoals boven aangegeven speelt de RV een belangrijke rol. Volgens het mechanisme van de vervloeiing van Ca en Mg chloriden is een RV van rond 30% nodig om de benodigde hoge chlorideconcentraties te bereiken voor SCC. Op het eerste gezicht zijn lage RV's in zwembaden niet voor de hand liggend door de aanwezigheid van een groot wateroppervlak. Toch zijn RV's rond 30% gemeten [Iversen 2007]. In [Cutler 2002] wordt een reeks gemeten RV's gegeven, waar in één maand (mei 1996) enkele malen over een deel van een etmaal een RV tussen 35 en 40% optrad (overdag, een hogere temperatuur leidt tot een lagere RV). De maxima in RV lagen tussen 50% en 80%. Ongetwijfeld spelen ventilatie en klimaatbehandeling hierbij een rol. Mogelijk daalt de RV 's winters, als het buiten koud en droog is. Het optreden van lage RV's is vooralsnog een grillig verschijnsel.

Het is aannemelijk dat binnen een jaar diverse perioden met lage RV optreden, die het optreden van spanningscorrosie kunnen bevorderen.

Getracht is uit de literatuur een beeld te krijgen van de tijdsduur waarop corrosie van niet-resistent RVS zich afspeelt, met als doel een (voldoende veilige) inspectietermijn af te leiden.

De literatuur geeft waarnemingen voor RVS 304 (de minst resistente soort) onder expositie bij een permanente RV van 30% (de meest agressieve RV) met $MgCl_2$ en/of $CaCl_2$ (de meest agressieve zouten).
Mietz en Isecke [2001] hebben bij 30ºC na 70 uur (3 dagen) en na 600 uur alleen putcorrosie en geen spanningscorrosie waargenomen en na 1200 uur (ca. 7 weken) putcorrosie en spanningscorrosie. Prosek [2009] en Iversen [2007] rapporteren bij 30ºC na 10 weken spanningscorrosie en bij 40ºC na 4 weken spanningscorrosie.
Dit betekent dat onder de zwaarst mogelijk belasting (agressiefste zouten, permanent agressiefste RV) spanningscorrosie pas na 4 weken bij 40ºC en na 7 weken bij 30ºC ontstaat. De tijd tot putcorrosie is vrijwel nihil (3 dagen bij 30 C, mogelijk nog korter bij 40ºC).
Vooral de permanent agressieve (lage) RV komt in een zwembad niet voor; daar is de RV cyclisch met een dag/nachtritme, met variaties tussen globale waarden rond 30% en 80%, zie hierboven [Cutler 2002]. Omdat verder geen RV gegevens uit zwembaden beschikbaar zijn, is het aantal excursies naar een RV rond 30% niet goed bekend maar zeer waarschijnlijk gering. Voor de proeven geldt daarom een aanzienlijke versnellingsfactor. Doordat een en ander niet gekwantificeerd is, is geen betrouwbaar model beschikbaar. Daarom is alleen een schatting mogelijk van de snelheid waarmee deze processen in de praktijk kunnen optreden.

De literatuur samenvattend kan het volgende worden gesteld.

In moderne zwembaden treedt transport van chloorverbindingen op via de atmosfeer, die vervolgens kunnen worden afgezet op het oppervlak van metalen, waar zij reacties ondergaan die leiden tot een agressief milieu. De traditionele RVS soorten 304 en 316 kunnen hierdoor (put)corrosie en vervolgens spanningscorrosie ondergaan onder normale mechanische belasting, met plotselinge breuk als gevolg. Putcorrosie kan bij deze materialen al optreden binnen een periode van twee jaar na de bouw; ook spanningscorrosie is mogelijk op een zo korte termijn. Bij hoger gelegeerde RVS soorten (bijvoorbeeld 904L en 254SMO) treedt geen spanningscorrosie op. Bij soorten met minder dan 6% Mo (904L) kan putcorrosie optreden (in verzwaarde laboratoriumomstandigheden en in zware praktijkomstandigheden), maar geen spanningscorrosie. Met 6% of meer Mo (254 SMO) kan putcorrosie optreden bij zeer hoge chloridegehalten (alleen onder de zwaarste omstandigheden in laboratoriumproeven); maar er treedt geen spanningscorrosie op. Of (put)corrosie en, voor 304 en 316, spanningscorrosie daadwerkelijk optreden hangt af van de omstandigheden in het zwembad. Lokale en temporale variatie van temperatuur en RV en de concentratie van vluchtige chloorverbindingen spelen daarbij een rol, mede bepaald door ventilatie en luchtbehandeling. Een hogere temperatuur leidt tot een grotere kans op spanningscorrosie. De invloed van de RV is complex. Juist bij lagere RV's (20-35%) kunnen de hoogste chlorideconcentraties optreden, waardoor spanningscorrosie mogelijk wordt. Bij hogere RV's wordt putcorrosie bevorderd.

Lage RV's kunnen vermoedelijk optreden in perioden met een lage buiten-RV ('s winters) of bijvoorbeeld wanneer het zwembad droog wordt gezet vanwege onderhoud.

Onderstaande figuur 3 geeft een en ander schematisch weer. De relevante begrippen en processen worden kort uiteengezet, verwijzend naar letters en cijfers in de figuur.

Initiatieperiode (A): periode waarin geen corrosie optreedt, maar wel afzetten van chloride(zouten) op het metaaloppervlak vanuit de atmosfeer. De duur van deze periode is een functie van de aanvoer van de vluchtige chloorverbindingen, RV, temperatuur en RVS soort. Deze periode eindigt wanneer het kritisch chloridegehalte in de vloeistoffilm op het metaal is bereikt en depassivering optreedt, waarmee het proces van putcorrosie begint.

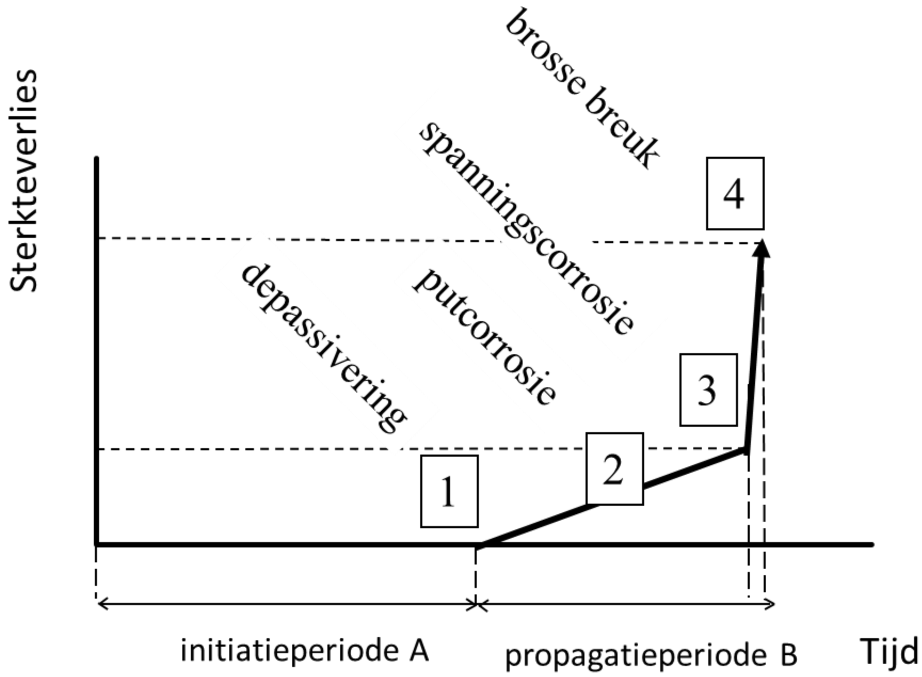
Depassivering (gebeurtenis) (1): doorbreken van de passiveringslaag op het metaal, ontstaan van (kleine) corrosieputten. Het hiervoor benodigde (kritische) chloridegehalte is een functie van de soort RVS, RV en temperatuur.

Propagatieperiode (B): periode waarin corrosie, dus oplossen van het metaal optreedt in de vorm van putvormige corrosieplekken en (soms) spanningscorrosie. De duur van deze periode is een functie van RV en temperatuur. Tijdens deze periode gaat het afzetten van chloriden door.

Putcorrosie (proces) (2): plaatselijk oplossen van het metaal, waarbij de snelheid van corrosie een functie is van RV, temperatuur en RVS soort. Het materiaal- en sterkteverlies is bij dit proces relatief gering en traag

(Ontstaan van) spanningscorrosie (gebeurtenis) (3): op gang komen van het scheuren van metaalkristallen. Dit is een functie van de chlorideconcentratie in de vloeistoffilm en/of in de corrosieputten, afhankelijk van het tegenion (Ca, Mg), RV, temperatuur, soort RVS en mechanische spanning (intern of extern).

Spanningscorrosie (proces) (4): met hoge snelheid scheuren van het metaal, aanzienlijk sterkteverlies, waardoor (snel) bezwijken optreedt.



Figuur 3 Stadia en processen bij corrosie van niet-resistent RVS in de zwembadatmosfeer

Bovenstaande verklaart ook waardoor geen spanningscorrosie (of putcorrosie) optreedt bij RVS dat zich in het zwembadwater bevindt of dat regelmatig wordt schoongespoeld met water: de vereiste hoge chlorideconcentraties treden niet op door verdunning en afvoer van de chloridehoudende zouten. Putcorrosie en zeker spanningscorrosie kunnen hierdoor niet optreden.

Voor het beoordelen van de veiligheid bij inspectie van niet-resistente RVS soorten is het nodig de tijd te schatten die verloopt tussen de afwezigheid van corrosie en het optreden van spanningscorrosie. De literatuur en beschikbare inspectiegegevens zijn zeer onvolledig; er is geen betrouwbaar model beschikbaar. Daarom is de volgende redenering opgesteld.

De praktijk en de literatuur laten diverse gevallen zien waar binnen twee jaar roest op niet-resistent RVS (soorten 304 en 316) aanwezig is en in enkele gevallen (ook) spanningscorrosie. Het feit dat er ook zwembaden zijn met niet-resistent RVS zonder roest, ook na ettelijke jaren, geeft aan dat er sprake is van een statistische verdeling van de tijd tot corrosie. Dit is overigens gebruikelijk bij veel corrosieverschijnselen.

De vraag is nu hoe lang niet-resistent RVS zonder corrosie voldoende veilig is; kortom: welke restlevensduur mag worden aangenomen, met voldoende betrouwbaarheid? Hierbij kan figuur 3 behulpzaam zijn. De totale levensduur, dat wil zeggen de tijd tot brosse breuk kan, in een kleine fractie van de gedocumenteerde gevallen in zwembaden, zo kort zijn als twee jaar. Het duurt vanaf de bouw altijd enige tijd voordat voldoende chloride is afgezet op het staal.

De initiatieperiode (A in figuur 3) zal daarom waarschijnlijk ongeveer. een jaar duren. Om in de propagatieperiode (B in figuur 3) tot brosse breuk te komen, moet meer chloride worden afgezet; ook dit duurt enige tijd. Daarentegen kan het tijdstip van een inspectie kort voor het einde van de initiatieperiode vallen. Vanaf het moment dat putcorrosie optreedt duurt het in de zwaarst mogelijke laboratoriumproef nog 4 weken (bij 40ºC) of 7 weken (bij 30ºC) voordat spanningscorrosie optreedt. In praktijkomstandigheden in zwembaden is het zeer waarschijnlijk dat de tijd tot spanningscorrosie aanzienlijk langer is doordat de kritische RV niet permanent optreedt, maar slechts gedurende korte delen van de tijd.

Op grond van dit beeld zijn de auteurs van dit rapport van mening dat een minimale periode tussen het constateren van de afwezigheid van corrosie op niet-resistent RVS en het optreden van brosse breuk van een half jaar leidt tot een zeer kleine en daarmee acceptabele faalkans.

Daarmee is zes maanden het maximale interval tussen inspecties van niet-resistent RVS in bestaande bouw.

4.3 Gebruikte RVS onderdelen in zwembaden

Toepassing van RVS betreft o.a.:

- verlaagde plafonds opgehangen aan RVS draad en klemveren;
- kabelgoten, lichtlijnen en luchtkanalen opgehangen aan RVS draadeinden;
- stalen hoofddraagconstructies van het dak met RVS bouten en moeren;
- afzonderlijke elementen zoals lampen, spiegelbollen en luidsprekers opgehangen aan RVS kettingen of draden.

4.4 In 2004 toegelaten soorten RVS

In de NCC-Praktijkrichtlijn [NCC 2004] werd op basis van onderzoek gesteld dat de volgende RVS soorten voldoende bestand zijn tegen corrosie in de zwembadatmosfeer: 1.4529, 1.4547, 1.4565. Een inspectietermijn van 2 tot 5 jaar wordt genoemd. Deze drie RVS soorten worden ook in de moderne regelgeving genoemd als geschikt voor toepassing in zwembadatmosfeer, zie hoofdstuk 5.

5 Beoordeling van de constructieve veiligheid

5.1 Algemeen

Dit hoofdstuk beschrijft hoe de constructieve veiligheid van RVS-constructieonderdelen en de verantwoordelijkheid van diverse partijen die daarmee samenhangt zijn geregeld vanuit de Woningwet en het Bouwbesluit en de daarin aangewezen constructienormen (met name NEN-EN 1993-1-4 en NEN 8700).

5.2 Verantwoordelijkheden

Om de constructieve veiligheid van RVS-constructieonderdelen in zwembaden volgens de bouwregelgeving in het juiste perspectief te plaatsen, wordt hier eerst ingegaan op hoe de bouwregelgeving omgaat met verantwoordelijkheden van de verschillende actoren. Deze verantwoordelijkheden staan beschreven in de Woningwet en de Arbeidsomstandighedenwet. Achtereenvolgens worden hier de verschillende verantwoordelijkheden beschreven voor de eigenaar van het zwembad, de exploitant van het zwembad en de overheid.

De eigenaar van het zwembad heeft zowel tijdens de bouw, de gebruiksfase, bij renovaties, als bij de sloop, de verantwoordelijkheid dat er geen gevaar voor de gezondheid of veiligheid ontstaat dan wel voortduurt (Woningwet, artikel 1a).

De exploitant van het zwembad heeft vanuit zijn rol als gebruiker, dezelfde verantwoordelijkheid als de eigenaar zoals beschreven in de Woningwet. In aanvulling daarop heeft de exploitant als werkgever volgens de Arbeidsomstandighedenwet (artikel 3) de verantwoordelijkheid om aan de hand van een risico-inventarisatie & -evaluatie (RI&E) de veiligheid van werknemers te garanderen. Dit betekent overigens dat de exploitant van een zwembad vanuit de Arbeidsomstandighedenwet bezien, geen verantwoordelijkheid heeft aangaande een bezoeker. Wel is het zo dat als een bezoeker op onbehoorlijke wijze wordt benadeeld of schade toegebracht, sprake kan zijn van een onrechtmatige daad als bedoeld in het Burgerlijk Wetboek (onder andere artikel 6,lid 162). Dit, omdat de exploitant van het zwembad in strijd met hetgeen is betaamd volgens ongeschreven recht in het maatschappelijk verkeer iets heeft gedaan of nagelaten.

De overheid draagt meerdere verantwoordelijkheden aangaande de constructieve veiligheid van RVS-constructieonderdelen in zwembaden.
Bij de bouw of grote renovatie van een zwembad zal de gemeente een vergunning moeten verlenen, conform de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht, (Wabo). De Wabo is op 1 oktober 2010 ingevoerd om de procedures voor vergunningen te vereenvoudigen en de aanvraag van verschillende vergunningen te bundelen in één vergunning. Hiermee is de bouwvergunning vervangen door de omgevingsvergunning voor bouwen.
Daarnaast heeft de gemeente de verantwoordelijkheid als handhaver indien er een gevaar is voor de veiligheid (Bouwbesluit, artikel 1, lid 1).
Verder heeft de overheid nog verantwoordelijkheden aangaande tweedelijns-toezicht op de bouwregelgeving. Deze is per 1 oktober 2012 met het in werking treden van de Wet revitalisering generiek toezicht, overgegaan van het rijk (de ILT,

Inspectie Leefomgeving en Transport) naar de provincies. Hiermee is de rol van interbestuurlijk toezicht expliciet belegd bij de provincies.
Tenslotte is de Inspectie SZW (Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid) per 1 januari 2012 toezichthouder op de naleving van de Arbeidsomstandighedenwet. De Inspectie SZW is een samenvoeging van de organisaties en activiteiten van de voormalige Arbeidsinspectie, de Inspectie Werk en Inkomen en de Sociale Inlichtingen- en Opsporingsdienst van het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid. De Inspectie SZW kan dus direct sancties opleggen bij zwembaden.

5.3 Constructieve veiligheid

5.3.1 Algemeen

Voor de beoordeling van de constructieve veiligheid van RVS-constructieonderdelen in zwembaden volgens de bouwregelgeving is de Woningwet het uitgangspunt. Deze verwijst door naar een Algemene Maatregel van Bestuur (Bouwbesluit 2012), normen of delen van normen, en kwaliteitsverklaringen. Achtereenvolgens wordt een uiteenzetting gegeven van de aansturing vanuit de Woningwet, het Bouwbesluit 2012 en de daarin benoemde normen, aangevuld met informatie over eventueel van kracht zijnde CE-markeringen en kwaliteitsverklaringen die betrekking hebben op RVS-constructieonderdelen in zwembaden.

De Woningwet stelt (artikel 1b) dat een bouwwerk moet voldoen aan de van toepassing zijnde voorschriften, waarbij wordt verwezen (artikel 2, lid 1) naar het Bouwbesluit 2012. Deze Algemene Maatregel van Bestuur geeft technische voorschriften omtrent het bouwen, de staat van een bestaand bouwwerk en het in gebruik nemen of gebruiken van een bouwwerk.

Aangaande de constructieve veiligheid van RVS-constructieonderdelen in zwembaden zijn twee delen van het Bouwbesluit 2012 van belang.

Paragraaf 1.3 gaat in op CE-markeringen en kwaliteitsverklaringen, die betrekking kunnen hebben op bouwproducten met RVS-constructieonderdelen zoals toegepast in zwembaden. CE-markering is verplicht voor die bouwproducten waarvoor de Europese Commissie een geharmoniseerde Europese norm heeft gepubliceerd, waarvan de co-existentieperiode is afgelopen. Erkende kwaliteitsverklaringen die voor bouwproducten worden afgegeven op basis van een door de minister erkend stelsel van kwaliteitsverklaringen voor de bouw, geven een uitwerking dat betreffend bouwproduct voldoet aan de eisen gesteld in het Bouwbesluit 2012.

Daarnaast geeft het Bouwbesluit 2012 in paragraaf 2.1 een uiteenzetting aangaande de sterkte van bouwconstructies.
Voor nieuwbouw (paragraaf 2.1.1) is de eis gesteld dat een te bouwen bouwwerk voldoende bestand is tegen de daarop werkende krachten. Vervolgens wordt verwezen naar NEN-EN 1990 voor het vaststellen van de fundamentele en bijzondere belastingscombinaties voor de voorgeschreven ontwerplevensduur, en naar NEN-EN 1991 voor de aan te houden belastingen. Voor de toetsing van de

sterkte van RVS onderdelen wordt verwezen naar NEN-EN 1993 en daarmee naar NEN-EN 1993-1-4.

Voor bestaande bouw (paragraaf 2.1.2) is de eis gesteld dat een bestaand bouwwerk gedurende de restlevensduur voldoende bestand is tegen de daarop werkende krachten. Vervolgens wordt verwezen naar NEN 8700 voor het vaststellen van de fundamentele belastingscombinaties voor de bedoelde restlevensduur en de aan te houden belastingen. Voor de toetsing van de sterkte van RVS onderdelen wordt eveneens verwezen naar NEN 8700, die vervolgens doorverwijst naar NEN-EN 1993 en daarmee naar NEN-EN 1993-1-4.

NEN 8700 geeft de wettelijk minimale betrouwbaarheidseisen voor constructie(onderdelen) bij verbouw en afkeur. Kort samengevat moet een constructie publiekrechtelijk worden afgekeurd indien het veiligheidsniveau behorende bij afkeuren wordt onderschreden rekening houdend met een restlevensduur van 1 jaar.

Volgens NEN-EN 1990 en NEN 8700 worden de constructies ingedeeld in gevolgklassen, zie Tabel 5.

Tabel 5. Gevolgklassen volgens NEN-EN 1990 (in het Engels Consequence Class (CC)).

gevolgklasse	**Gevolgen van bezwijken (grootste kans maatgevend)**	
	kans op levensgevaar	kans op economische schade
CC1	uitgesloten/klein	klein
CC2	aanzienlijk	aanzienlijk
CC3	zeer groot	zeer groot

Gegeven de bovenstaande indeling horen de ophangelementen in zwembaden te worden ingedeeld in gevolgklasse 2 (CC2).

Volgens NEN 8700 behoort bij het afkeurniveau van CC2 een betrouwbaarheids-index β=2,8. Deze komt overeen met een faalkans van P_f=0.0062 in de levensduur. Dit gegeven wordt gebruikt bij het bepalen van de benodigde steekproefgrootte bij inspecties (hoofdstuk 6). Voor nieuwbouw en CC2 is de betrouwbaarheidsindex 3,8,

met een faalkans van ongeveer 7 * 10^{-5}. Voor verbouw is de betrouwbaarheidsindex 3,3 met een faalkans van ongeveer 2* 10^{-4}. Hierbij wordt opgemerkt dat verbouw volgens NEN 8700 normaal gesproken plaatsvindt onder de eisen voor nieuwbouw (bijlage F.3).

5.3.2 *CE-markeringen en kwaliteitsverklaringen*

Erkende kwaliteitsverklaringen zijn gebaseerd op beoordelingsrichtlijnen (BRL), waarvan de Stichting Bouwkwaliteit (SBK) een actueel overzicht bijhoudt van de van kracht zijnde BRL'en (http://www.bouwkwaliteit.nl/dbase/brltitel/brl_zoek_result_all.php). Bij nalopen van deze lijst blijkt dat geen van de BRL'en betrekking hebben op RVS-constructieonderdelen in zwembaden.

Om na te gaan welke geharmoniseerde Europese normen betrekking hebben op RVS-constructieonderdelen in zwembaden, is de meest recente snapshot-lijst gepubliceerd door CEN (http://www.ue.itb.pl/files/ue/snapshot_18_2_2013.pdf) gehanteerd. Hieruit blijkt dat dit alleen NEN-EN 13964 “Verlaagde plafonds – Eisen en beproevingsmethoden” betreft. Echter in dit document is geen verwijzing aanwezig naar de specifieke situatie voor zwembaden. Dit betekent overigens nog niet dat CE-markering niet verplicht zou zijn voor verlaagde plafonds in zwembaden. Wel is de discussie aan te gaan of verlaagde plafonds met een RVS ophangsysteem vallen onder het toepassingsgebied van de norm. RVS is niet specifiek benoemd in de norm en het toepassingsgebied kent vele uitsluitingen. De conclusie is dat NEN-EN 13964 geen aanknopingspunten biedt.

Omdat RVS staalsoorten vanuit NEN-EN 1993 worden aangewezen (voorgeschreven) is sprake van RVS voor constructieve toepassingen. Daarmee zijn de geharmoniseerde normen NEN-EN 10088-4 en NEN-EN 10088-5 van toepassing. Deze normen dienen als basis voor CE-markering en prestatieverklaring voor RVS.

5.3.3 *Overige regelgeving*

In NEN-EN 13451-1 Swimming pool equipment – Part 1: General safety requirements and test methods worden in bijlage G RVS soorten gespecificeerd voor een zwembadatmosfeer: 1.4529, 1.4547, 1.4565; overigens zijn dit dezelfde als in NEN-EN 1993-1-4, zie 5.3.5. Het Bouwbesluit verwijst niet naar deze norm. Daarmee heeft zij geen publiekrechtelijke status, en uitsluitend een privaatrechtelijke status.

5.3.4 *Aantonen van de duurzame veiligheid van niet-resistent RVS volgens NEN 8700*

Voor de constructieve veiligheid van RVS onderdelen toegepast in zwembaden in bestaande situaties verwijst het Bouwbesluit 2012 naar NEN 8700. Daarin (artikel 2.4, lid (6)P) wordt gesteld dat rekening moet worden gehouden met de restlevensduur en moet worden aangetoond dat deze wordt gehaald. In artikel 2.3.1, lid (1f) wordt weliswaar gesteld dat in geval van een afkeuroordeel voor de restlevensduur ongeacht de bestemming of grootte van het bouwwerk, moet zijn uitgegaan van 1 jaar, maar dat heeft dan betrekking op de rol van de gemeente als handhaver die op een bepaald moment kan besluiten tot bijvoorbeeld sluiten van een zwembad indien de constructieve veiligheid in het geding is. Om de

constructieve veiligheid voor een langere periode te kunnen garanderen, is het verstandiger uit te gaan van een realistische tijdperiode die aansluit op de definitie gegeven in artikel 1.5.2.8a van NEN 8700. Dit is de periode waarbinnen het minimumveiligheidsniveau niet mag worden onderschreden (zie 5.3.1). Deze periode is praktisch gesproken gelijk aan de resterende exploitatieperiode van het zwembad.
Verder wordt bij de toetsing van de sterkte, aangegeven dat rekening moet worden gehouden met “roestvorming” (artikel 3.5, lid (1)A). Dit zou kunnen middels een faalkansanalyse, rekening houdend met het faalmechanisme bros breken van niet-resistent RVS.
NEN 8700 geeft in de informatieve bijlage E beoordelingsaspecten van bestaande bouw. In hoofdstuk E2 is een stappenplan voor een beoordelingsprocedure gegeven. Deze procedure is generiek en zal voor inspecties voor niet-resistent RVS specifiek gemaakt moeten worden. Onderdelen hiervan zijn in paragraaf 4.2 al aan de orde geweest; verder wordt hierop in de hoofdstukken 6 en 7 ingegaan.

5.3.5 Resistente RVS soorten

Zoals opgemerkt, wordt voor de toetsing van de sterkte van RVS onderdelen vanuit het Bouwbesluit verwezen naar NEN 8700, die vervolgens doorverwijst naar NEN-EN 1993 en daarmee naar NEN-EN 1993-1-4 (2006) en de Nationale Bijlage NEN-EN 1993-1-4/NB (2012), met als titel Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 1-4: Algemene regels - Aanvullende regels voor roestvaste staalsoorten. Bijlage A Duurzaamheid van NEN-EN 1993-1-4 geeft informatie over corrosie en gebruik van RVS, waaronder een indeling in Risiconiveaus. Risico niveau 3 (het hoogste niveau) is relevant bij o.a. toepassing boven gesloten zwembaden. In de Nationale Bijlage bij NEN-EN 1993-1-4 in Annex A “Durability” wordt normatief gesteld dat de volgende soorten RVS gebruikt mogen worden voor dragende delen in zwembaden (bv. verlaagde plafonds) met meer dan 250 mg/l chloride-ionen: 1.4529, 1.4547, 1.4565. Met minder dan 250 mg/l is ook 1.4539 (904L) toegestaan. De vereiste draagkracht (duurzaamheid) moet gedurende de referentieperiode worden aangetoond. Hoe dit zou moeten wordt niet vermeld maar dit kan bijvoorbeeld door regelmatige inspectie zoals is uitgewerkt in dit rapport .

Opgemerkt wordt dat de drie legeringen 1.4529, 1.4547 en 1.4565 alle een PRE hebben van tenminste 41 (Tabel 1). Legering 1.4565 is niet onderzocht in [Iversen 2007, Prosek 2009]. De wel onderzochte en bestand lijkende legering 1.4539 (904L) heeft een lagere PRE van 32-29. Mogelijk vormen de PRE-waarden de achtergrond van de keuze in de norm. Ook in [Mietz 1999] is 1.4565 niet onderzocht, en verder wordt deze legering niet genoemd in NEN-EN 10088-1. Volgens [Baddoo n.d] heeft dit materiaal een hogere treksterkte dan bijvoorbeeld 1.4529 en 1.4547.

In Nederland wordt tegenwoordig niet gecontroleerd op chloridegehalte [Stiphout 2004], voorheen was een gehalte tot 500 mg/l toegestaan. Een gehalte van maximaal 250 mg/l komt overeen met de eisen voor drinkwater. Toevoeging van chloor vanwege de hygiëne zal de waarde vermoedelijk altijd boven 250 mg/l brengen. Hieruit volgt dat moet worden uitgegaan van een gehalte van meer dan 250 mg/l. Daarmee zijn volgens de huidige regelgeving drie RVS soorten

toegestaan voor dragende toepassing in de zwembadatmosfeer: 1.4529 (UNS N08926), 1.4547 (254 SMO ofwel UNS S31254) en 1.4565 (UNS 34565).

Een en ander betekent dat bij nieuwbouw in Nederland voor dragende constructies boven zwembaden alleen de RVS soorten 1.4529, 1.4547 en 1.4565 mogen worden gebruikt.

Bovenstaande betekent ook dat in bestaande situaties dezelfde drie soorten RVS zijn toegestaan.

Volgens de Nationale Bijlage bij NEN-EN 1993-1-4 moeten ook resistente RVS soorten worden geïnspecteerd (aantonen van ‘durability’). Dit is redelijk, gezien de beperkte ervaring met deze materialen, , zowel bij nieuwe als bestaande constructies. Hiervoor dient vooralsnog een interval van drie jaar te worden aangehouden, in lijn met wat eerder werd aanbevolen in de NCC-Praktijkrichtlijn [NCC 2004].

Indien bij een dergelijke inspectie corrosie wordt aangetroffen (hetgeen niet te verwachten is), dan moet (destructief, microscopisch) materiaalonderzoek worden uitgevoerd. Indien daarbij alleen putcorrosie wordt gevonden, is dit nog geen reden tot vervanging, echter wel tot versnelde inspectie, bijvoorbeeld een termijn van zes maanden. Indien spanningscorrosie wordt aangetroffen is dat reden tot onmiddellijke vervanging. Bij een vervolginspectie moet worden gecontroleerd op de aanwezigheid van spanningscorrosie. Wanneer bij een inspectie corrosie (putcorrosie of spanningscorrosie) van resistent (geacht) RVS wordt aangetroffen, is dat dermate onverwacht dat dit gemeld moet worden aan NEN en de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) van het Ministerie van Transport en Milieu voor zover het product is geleverd onder CE-markering. Overigens is het van groot belang dat de materiaalsamenstelling ondubbelzinnig wordt bepaald. Immers, men kan ook de verkeerde soort RVS hebben toegepast.

6 Overwegingen bij inspecties

6.1 Algemeen

Een inspectie van dragende metalen onderdelen in een zwembad moet in het algemeen doelmatig, objectief en betrouwbaar zijn en tot een veilig resultaat leiden.

Doel van de inspectie is aan te tonen dat de constructieve veiligheid gedurende de restlevensduur, of in elk geval tot de volgende inspectie, is gewaarborgd. In NEN 8700 is dit inhoudelijk geregeld door voor te onderscheiden gevolgklassen (zwembaden zullen in de meeste gevallen vallen onder gevolgklasse CC2) een minimum te stellen voor de betrouwbaarheid (zie Tabel 5). Deze minimale betrouwbaarheid moet gedurende een aan te houden inspectie-interval gewaarborgd te blijven. Gezien de optredende fenomenen zoals (spannings)corrosie van niet-resistent RVS in een zwembadatmosfeer, is het niet noodzakelijk een gecompliceerde risicobenadering op probabilistische basis uit te voeren.

Zoals in hoofdstuk 5 gesteld, mag voor niet-gecorrodeerde niet-resistente RVS soorten worden aangenomen dat de veiligheid tenminste voor zes maanden voldoende is gewaarborgd. Daarom moet niet-resistent RVS zonder corrosie elke zes maanden worden geïnspecteerd. Zodra corrosie wordt geconstateerd, moet het worden vervangen. Resistente RVS soorten moeten elke drie jaar worden geïnspecteerd.

De noodzaak tot inspectie geldt voor alle dragende elementen in RVS in die delen van het zwembad waar agressieve omstandigheden kunnen heersen.

De inspectie moet daarom tenminste de volgende onderdelen bevatten:
a) inventarisatie van ruimten waar de atmosfeer vluchtige chloorverbindingen bevat;
b) inventarisatie van de dragende metalen delen in de zwembadatmosfeer;
c) vaststellen van de gebruikte materiaalsamenstelling- of RVS soort;
d) vaststellen van de steekproefgrootte;
e) vaststellen van de aanwezige corrosie;
f) een beoordeling van de situatie;
g) een advies voor maatregelen (vervanging, reparatie, volgende inspectie);
h) een rapportage.

In de volgende paragrafen worden deze onderdelen behandeld. Vervolgens wordt in dit hoofdstuk een recent Nederlands voorstel voor een inspectiemethodiek besproken. Tenslotte wordt de hier voorgestelde methodiek uiteengezet.

6.2 Inventarisatie van ruimten met agressieve atmosfeer

Binnen het gebouw moeten ruimten met agressieve atmosfeer worden geïdentificeerd. Hiervoor moet de bouwkundige indeling en het systeem van ventilatie en luchtbehandeling worden bekeken. De zwembadhal en daarmee in open verbinding staande ruimten moeten zonder meer als agressief worden beschouwd. Daarvan afgescheiden ruimten met een totaal gescheiden ventilatie

zijn niet agressief. De aan- of afwezigheid van de typische zwembadlucht mag als een indicatie worden beschouwd.

6.3 Inventarisatie van de dragende metalen delen in de zwembadatmosfeer

Voor het inventariseren van dragende delen is bouwkundig en constructief inzicht nodig. Welke delen kunnen bij breuk leiden tot bezwijken en kunnen daardoor schade veroorzaken of de veiligheid van het publiek of de medewerkers bedreigen? Hierbij worden de gevolgklassen van NEN-EN 1990 gehanteerd (meestal CC1 of CC2), zie tabel 5. RVS in zwembadatmosfeer bevindt zich altijd in risicoklasse 3 van NEN-EN 1993-1-4 bijlage A.3.

Bij een afname-inspectie of een nulinspectie moet een complete inventarisatie worden gemaakt. Die inventarisatie moet enerzijds resulteren in een totaaloverzicht van welke soorten dragende onderdelen in welke ruimten van het betreffende zwembad zijn toegepast (bijvoorbeeld plafondhaken, beugels voor luchtkokers, bevestiging lampen, enz.). Anderzijds moet de inventarisatie resulteren in een overzicht van de verschillende ruimten die zijn te onderscheiden, hun relatie tot het bad in termen van luchtcirculatie en -behandeling (paragraaf 6.2) en de positie waar de dragende onderdelen zich bevinden in de betreffende ruimten.

Ten aanzien van de toegepaste soorten dragende onderdelen moet het volgende geïnventariseerd worden:

- een eenduidige beschrijving van het dragende onderdeel;
- de ruimten waarin de dragende onderdelen zijn toegepast;
- het aantal keer dat dat dragende onderdeel is toegepast;
- de gevolgen van het bezwijken van één exemplaar van dat dragende onderdeel: resulteert dat in het omlaag komen van onderdelen en zo ja, is dat dan lokaal of is er dan sprake van progressive collapse;
- als het bezwijken van één exemplaar niet resulteert in het omlaag komen van onderdelen, is er dan direct een duidelijk waarneembaar effect (“waarschuwing”) en als dit niet het geval is, moeten ook de gevolgen van het bezwijken van meerdere naast elkaar gelegen dragende onderdelen geanalyseerd worden.

Ten aanzien van de te onderscheiden ruimten moet zowel onderscheid gemaakt worden in de ruimten van het zwembad zelf, als in “afgesloten” ruimten: tussenniveau en plafondniveau (zie Hoofdstuk 3 en paragraaf 6.2). Dit betekent dat eventuele ruimten boven een verlaagd plafond als aparte ruimten gedefinieerd moeten worden. Het bezwijkgedrag is van belang bij het nemen van maatregelen bij het constateren van corrosie, bijvoorbeeld het aanbrengen van een tweede draagweg (extra ophanging), het gedeeltelijk afzetten van delen van het zwembad of in het uiterste geval het sluiten van het zwembad.

6.4 Vaststellen materiaalsamenstelling of RVS soort

In vervolg op de inventarisatie geldt dat het vaststellen van de materiaal-samenstelling moet worden uitgevoerd voor alle soorten toegepaste dragende onderdelen.

Indien één soort dragend onderdeel in meerdere ruimten wordt toegepast, moet per ruimte een controle worden uitgevoerd van de materiaalsamenstelling, tenzij uit betrouwbare documentatie blijkt dat die soort onderdeel van hetzelfde materiaal is.

Bij de inspectie moet onderscheid worden gemaakt tussen verschillende materialen en moet de soort materiaal worden vastgesteld. Te onderscheiden materialen zijn: gecoat (koolstof)staal, verzinkt staal, gecoat en verzinkt staal, resistent roestvaststaal, niet-resistent roestvaststaal.

Voor het maken van onderscheid tussen koolstofstaal en RVS is in het verleden magnetische bepaling gebruikt. Vanwege de mogelijkheid van een verkeerde diagnose wordt deze methode niet toegestaan (zie Hoofdstuk 4).

Voor verzinkt staal moet de zinklaagdikte worden vastgesteld; dit aspect valt verder buiten het werkgebied van deze studie. Dit geldt ook voor gecoat staal.

Voor RVS moet onderscheid worden gemaakt tussen resistente en niet-resistente soorten. Zoals aangegeven in hoofdstuk 4 kan dit alleen met voldoende betrouwbaarheid op basis van samenstelling. Semi-kwantitatieve bepaling op de gehalten chroom, nikkel en molybdeen is voldoende. Hiervoor is draagbare apparatuur op basis van röntgenfluorescentie (XRF) beschikbaar, die volledig niet-destructief werkt.

6.5 Vaststellen van de steekproefgrootte

Gezien de aard van het verschijnsel, bros breken van ophangelementen door corrosie, moet de kans klein zijn dat bij een inspectie een gecorrodeerd element over het hoofd wordt gezien. Aan de andere kant kan het inspecteren van alle elementen onpraktisch zijn. Volgens NEN 8700 mag de kans op bezwijken in bestaande situaties (afkeurniveau) P_f=0.0062 zijn (zie paragraaf 5.3.1). Met behulp van statistische analyse is geschat hoeveel elementen van één en hetzelfde type moeten worden geïnspecteerd om een kans kleiner dan 0.0062 te hebben dat in het niet-geïnspecteerde deel van de populatie een gecorrodeerd element zit. De details worden gegeven in Bijlage B. Hier wordt volstaan met het resultaat te geven.

Tabel 6 geeft een overzicht van de vereiste steekproefgrootte, met 100% succes bij de steekproef (geen enkel ophangelement is gecorrodeerd) bij een gegeven populatiegrootte, om de vereiste betrouwbaarheid in de populatie te halen.

Op grond hiervan wordt geadviseerd wordt om bij grote aantallen gelijksoortige elementen minimaal 110 elementen te inspecteren. Indien 110 elementen niet gecorrodeerd zijn kan met een kans van 0.9938 worden geconcludeerd dat het zwembadplafond geen gecorrodeerde elementen bevat en voldoet het daarmee aan het afkeurcriterium van CC2.

Tabel 6. Resultaten analyse: grootte van steekproef bij gegeven populatiegrootte

grootte populatie	**eis: 0.9938 kans op goed element in populatie**
P	**steekproef grootte 100% goed**
100	67
200	90
300	101
400	105
500	110
600	110
700	110
800	110
900	110
1000	110
2000	110
3000	110
4000	110
5000	110
6000	110
7000	110
8000	110
9000	110
10000	110

Deze redenering geldt zoals aangegeven voor grote aantallen gelijksoortige elementen vanaf 500. Dergelijke aantallen komen typisch voor bij ophangelementen voor verlaagde plafonds. Andere soorten opgehangen constructies zoals ventilatiekokers, lampen en luidsprekers, hangen aan veel kleinere aantallen elementen (veel minder dan 100). In dergelijke gevallen moeten alle elementen worden geïnspecteerd (steekproef 100%).

Voor nieuwbouw en verbouw met elementen in resistente RVS soorten ligt de toelaatbare faalkans veel lager (zie paragraaf 5.3.1). In principe zou daarom bij een inspectie een grotere steekproef genomen moeten worden. De gevoeligheid voor corrosie en daarmee kans op bezwijken wordt bij resistente materialen echter meer bepaald door materiaalafwijkingen (bv. productiefouten) dan door het (micro)klimaat. Er is dus een sterke correlatie tussen het gedrag van individuele elementen en daarom mag de steekproef beperkt blijven. Voor de eenduidigheid wordt de steekproefgrootte aangehouden als in tabel 6.

6.6 Vaststellen van de aanwezige corrosie

Aan- of afwezigheid van corrosie (roestvlekken en corrosieputten) wordt visueel vastgesteld. Daarbij moeten elementen van nabij en met voldoende licht worden

geïnspecteerd. Zicht belemmerende onderdelen zoals mantelbuizen moeten worden verwijderd.

Ten aanzien van de omvang van de inspectie gelden de volgende uitgangspunten:
- elke soort dragend onderdeel moet in alle verschillende agressief geachte ruimten steekproefsgewijs (volgens paragraaf 6.5) geïnspecteerd worden en omdat op voorhand geen zicht is op de mate van agressiviteit van de verschillende micromilieus per ruimte, moeten alle (agressieve) ruimten in het onderzoek betrokken worden.
- de steekproefgrootte moet daarbij afhankelijk gesteld worden van de vereiste betrouwbaarheid; zie paragraaf 6.5.

6.7 Beoordeling van de situatie

In dit onderdeel moet ingegaan worden op de toekomstverwachting ten aanzien van de corrosie. Daarbij moet, uitgaande van de ontwikkeling van de (aangetroffen) corrosie in de tijd, aangegeven worden op welke termijn welke gevolgen zouden kunnen ontstaan.

Bij de beoordeling van RVS onderdelen met een dragende functie gemaakt van de gevoelige soorten 304 of 316 moet worden overwogen dat de termijn waarop putcorrosie ontstaat en vervolgens overgaat in spanningscorrosie en mogelijke brosse breuk, niet goed bekend is, een wijde verdeling heeft, en mogelijk kort. Daarom moet niet-resistent RVS (304 of 316) met (put)corrosie worden afgekeurd; vervanging is dan op korte termijn nodig. Afhankelijk van de aard en omvang van eventueel bezwijken (lokaal, globaal, ‘progressive collapse’) moeten maatregelen worden genomen, bijvoorbeeld:
- - (de betreffende ruimte van) het zwembad sluiten;
- delen afzetten;
- een tweede draagweg aanbrengen;
- de betreffende elementen verwijderen / vervangen.

Indien geen (put)corrosie van deze materialen wordt geconstateerd, moet op termijn van maximaal een half jaar opnieuw worden geïnspecteerd.

6.8 Advies voor maatregelen

Een inspectie moet uitmonden in een advies voor maatregelen. Dit kan zijn een advies tot vervanging van niet-resistente of gecorrodeerde onderdelen of tot vervanging van alle vergelijkbare onderdelen als die waarin corrosie is opgetreden, een advies tot reparatie van gecorrodeerde onderdelen of van alle vergelijkbare onderdelen als die waarin corrosie is opgetreden en/of een advies voor een termijn waarop een volgende inspectie moet worden uitgevoerd.

6.9 Rapportage

De bevindingen moeten worden vastgelegd in een inspectierapport dat tevens aanbevelingen doet in termen van acties (vervangen, repareren, volgende inspectie).

6.10 Recent voorstel voor inspectiemethodiek

In 2012 is een inspectiemethodiek voorgesteld die, na het opdoen van ervaring, is gewijzigd en vastgelegd in [MIS 1203-2013 2013]. Het document geeft aanwijzingen voor materiaalselectie en inspectie voor corrosiebestendige dragende delen in de atmosfeer van binnenzwembaden. Het behandelt een reeks van metalen, waaronder koolstofstaal met een zinklaag, al of niet ook voorzien van een organische coating, aluminium en roestvaststaal. Behalve RVS vallen de behandelde materialen buiten deze studie. Genoemde toegestane soorten RVS zijn 1.4529 en 1.4547. Ook toegestaan is 1.4565, maar daarvan wordt gezegd dat het nauwelijks beschikbaar is en daarom wordt het materiaal niet behandeld in de tekst.

De voorgestelde inspectie- en beoordelingsmethodiek werkt samengevat als volgt. De beoordeling is gebaseerd op een risico-benadering. Het risico wordt kwalitatief vastgesteld op basis van de consequentie van falen en de kans op falen. Voor het bepalen van de consequentie van falen wordt onderscheid gemaakt in drie klassen:

- (i) geen letsel en geen economische schade;
- (ii) schade maar geen letsel;
- (iii) letsel en schade.

Voor het bepalen van de kans op falen wordt een combinatie gemaakt op basis van de bestandheid van het materiaal en de corrosietoestand. In een matrix worden consequenties en kans op falen samengevoegd tot vier categorieën resultaten, die leiden tot het advies voor het uitvoeren van een actie, hetzij reparatie of een nieuwe inspectie. Een resultaat Rood leidt tot het advies meteen te vervangen (dit is bv. het geval bij niet toegestane RVS soorten 304 en 316, ongeacht de aanwezigheid van corrosie). Oranje leidt tot het advies binnen 1 jaar te vervangen of, indien onderbouwd, opnieuw te inspecteren binnen 1 jaar. Geel leidt tot een nieuwe inspectie op een termijn van 2 jaar of reparatie. Groen leidt tot inspectie na 3 jaar (bij toegestane soort RVS) of na 6 jaar (verzinkt staal met hoge laagdikte of verzinkt en gecoat staal).

Drie soorten inspecties worden onderscheiden:

- afname inspectie (bij nieuwbouw of na verbouw);
- nul-inspectie of volledige inspectie (bij afwezigheid van documentatie) waarbij een inspectieplan wordt opgesteld en voor alle onderdelen wordt vastgesteld welke materialen zijn gebruikt, waarna de risico-bepaling volgens de matrix wordt uitgevoerd;
- herhalingsinspectie (als documentatie of een inspectieplan aanwezig is) waarbij niet mag worden volstaan met een steekproef op (iedere keer dezelfde) gemakkelijk bereikbare plaatsen.

Voor de inspectiemethoden worden genoemd:

- visueel onderzoek (op basis van voldoende kennis en ervaring);
- identificatie waarbij onderscheid tussen koolstofstaal en RVS kan worden gemaakt met een magneet en visueel en op basis van merktekens (bouten en moeren) en waarbij bij goed gemerkt resistent RVS kan worden volstaan met de certificaten; eventueel kan een draagbaar XRF apparaat worden gebruikt of kan monsteranalyse in het laboratorium plaatsvinden;
- meten van de zinklaagdikte.

In het kader van het huidige rapport worden bij de voorgestelde inspectiemethodiek volgens [MIS 1203-2013 2013] de volgende opmerkingen gemaakt.

Bij de nulinspectie of volledige inspectie moet een complete inventarisatie worden gemaakt van alle dragende onderdelen en alle ruimten in het zwembad met een beoordeling van hun potentiele agressiviteit, zoals aangegeven in paragraaf 6.2 en 6.3.

Bij het punt identificatie met behulp van magnetisch onderzoek wordt in het kader van dit rapport opgemerkt dat deze methode onvoldoende eenduidig is (zie paragraaf 4.1).

Volgens de redenering gegeven in paragraaf 5.3.4 is het bij de niet-resistente RVS soorten 304 en 316 zonder corrosie voldoende veilig binnen zes maanden te vervangen of opnieuw te inspecteren. Onmiddellijke vervanging is dus niet strikt noodzakelijk.

Voor het overige wordt opgemerkt dat de voorgestelde methodiek een goede aanpak beschrijft voor het inspecteren en beoordelen van RVS onderdelen.

7 Inspectiemethodiek

7.1 Opzet

In deze paragraaf wordt de opzet van de door de auteurs van dit rapport voorgestelde inspectiemethodiek op hoofdlijnen behandeld.

Er wordt onderscheid gemaakt in bestaande en nieuw te bouwen zwembaden.

Bestaande bouw
Elk bestaand zwembad moet worden geïnventariseerd op ruimten met een agressieve zwembadatmosfeer. Ruimten met een agressieve zwembadatmosfeer moeten worden geïnspecteerd op de aanwezigheid van dragende delen in niet-resistent of resistent RVS en op de aanwezigheid van corrosie.

Resistent RVS
De volgende soorten mogen corrosie-resistent worden geacht te zijn in een zwembadatmosfeer: 1.4529, 1.4547 en 1.4565
Indien resistent RVS bij de inspectie wordt aangetroffen zonder corrosie moet op een termijn van maximaal drie jaar opnieuw een inspectie worden uitgevoerd. Indien, tegen de verwachting in, corrosie wordt aangetroffen moet destructief materiaalonderzoek worden uitgevoerd. Indien alleen putcorrosie wordt aangetroffen, moet op een termijn van maximaal zes maanden opnieuw worden geïnspecteerd en moet het materiaal opnieuw worden onderzocht. Indien spanningscorrosie wordt aangetroffen moet het materiaal onmiddellijk worden vervangen. Wordt enige vorm van corrosie aangetroffen, dan moet dit worden gemeld aan NEN en de Inspectie Transport en Leefmilieu voor zover de producten zijn geleverd onder CE-markering

Niet-resistent RVS
Alle overige RVS soorten moeten worden geacht niet-corrosie-resistent te zijn in een zwembadatmosfeer.
Indien niet-resistent RVS bij de inspectie wordt aangetroffen is de te nemen actie afhankelijk van de aanwezigheid van (put)corrosie:

- Indien bij niet-resistente RVS soorten (put)corrosie wordt aangetroffen moeten meteen maatregelen worden genomen, zoals het aanbrengen van een tweede draagweg, het afzetten van een deel van het zwembad of in het uiterste geval het sluiten van (het betreffende deel van) het zwembad; en het niet-resistente RVS moet worden vervangen voordat het bad weer geopend wordt of het betreffende deel weer in gebruik wordt genomen.
- Indien bij niet-resistente RVS soorten geen (put)corrosie wordt aangetroffen moet op een termijn van maximaal zes maanden het niet-resistente RVS worden vervangen of opnieuw worden geïnspecteerd.

Nieuwbouw / verbouw
Bij de nieuwbouw en verbouw van een zwembad moet voor de dragende constructies in RVS in de zwembadatmosfeer gebruik maken van een van de volgende resistente RVS soorten: 1.4529, 1.4547 of 1.4565. Deze constructies moeten op een termijn van maximaal drie jaar opnieuw worden geïnspecteerd.

7.2 Uitwerking

In deze paragraaf wordt de hier voorgestelde inspectiemethodiek nader uitgewerkt. De uitwerking is nog onvolledig maar in het kader van dit rapport afdoende. Het onderstaande kan dienen als basis voor het opstellen een NPR als herziening van de NCC-Praktijkrichtlijn [NCC 2004].

Er wordt onderscheid gemaakt in bestaande en nieuw te bouwen zwembaden.

Bestaande bouw
Elk bestaand zwembad moet worden geïnventariseerd op ruimten met een agressieve zwembadatmosfeer. Ruimten met een agressieve zwembadatmosfeer moeten worden geïnspecteerd op de aanwezigheid van dragende delen in niet-resistent of resistent RVS en op de aanwezigheid van corrosie.

Een inspectie moet tenminste de volgende onderdelen bevatten:

a) inventarisatie van ruimten waar de atmosfeer vluchtige chloorverbindingen bevat;
b) inventarisatie van de dragende metalen delen in de zwembadatmosfeer;
c) vaststellen van de gebruikte materiaalsamenstelling- of RVS soort;
d) vaststellen van de steekproefgrootte;
e) vaststellen van de aanwezige corrosie;
f) een beoordeling van de situatie;
g) een advies voor maatregelen (vervanging, reparatie, volgende inspectie);
h) een rapportage.

Deze punten worden kort uitgewerkt; voor meer informatie wordt verwezen naar voorgaande hoofdstukken.

Ad a). Hiervoor moeten de bouwkundige indeling en het systeem van ventilatie en luchtbehandeling worden bekeken. De atmosfeer in de zwembadhal en daarmee in open verbinding staande ruimten moeten zonder meer als agressief worden beschouwd. De aan- of afwezigheid van de typische zwembadlucht mag als een indicatie worden beschouwd.

Ad b). Alle dragende metalen delen in alle agressieve ruimten moeten worden geïnventariseerd.

Ad c). Alle dragende RVS delen in agressieve ruimten moeten worden onderzocht op soort RVS. Dit moet gebeuren met behulp van apparatuur voor Positieve Materiaal Identificatie (PMI) op basis van röntgenfluorescentie spectrometrie (XRF). Deze geeft een semi-kwantitatieve bepaling van de belangrijkste legerings-elementen als chroom, nikkel en molybdeen. Er moet worden vastgesteld of er sprake is van resistent of niet-resistent RVS. De volgende soorten mogen corrosie-resistent worden geacht te zijn in een zwembadatmosfeer: 1.4529, 1.4547 en 1.4565 (zie tabel 2). Alle overige RVS soorten moeten worden geacht niet-corrosie-resistent te zijn in een zwembadatmosfeer.

Ad d). Bij grote aantallen gelijksoortige elementen vanaf 500 mag de steekproef beperkt worden tot 110 elementen. Dergelijke aantallen komen typisch voor bij ophangelementen voor verlaagde plafonds. Andere soorten opgehangen

constructies zoals ventilatiekokers, lampen en luidsprekers, hangen aan veel kleinere aantallen elementen (veel minder dan 100). In dergelijke gevallen moeten alle elementen worden geïnspecteerd (steekproef 100%). Voor aantallen tussen 100 en 500 wordt verwezen naar paragraaf 6.5, tabel 6.

Ad e). De aan- of afwezigheid van corrosie (roestvlekken en/of corrosieputten) moet binnen de bij d) genoemde steekproef visueel worden vastgesteld. Daarbij moeten de elementen van nabij en met voldoende licht worden geïnspecteerd. Zicht belemmerende onderdelen zoals mantelbuizen moeten worden verwijderd.

Ad f). Bij de inspectie kan resistent of niet-resistent RVS worden aangetroffen:

Resistent RVS
Indien resistent RVS bij de inspectie wordt aangetroffen zonder corrosie moet op een termijn van maximaal drie jaar opnieuw een inspectie worden uitgevoerd. Indien, tegen de verwachting in, corrosie wordt aangetroffen moet destructief materiaalonderzoek worden uitgevoerd. Indien alleen putcorrosie wordt aangetroffen, moet op termijn van maximaal zes maanden opnieuw worden geïnspecteerd. Wordt ook spanningscorrosie aangetroffen dan moet het materiaal onmiddellijk worden vervangen. Bij iedere vorm van corrosie moet dit worden gemeld aan NEN en de Inspectie Transport en Leefmilieu voor zover de producten geleverd zijn onder CE-markering

Niet-resistent RVS
Indien niet-resistent RVS bij de inspectie wordt aangetroffen is de te nemen actie afhankelijk van de aanwezigheid van (put)corrosie.
Indien bij niet-resistente RVS soorten (put)corrosie wordt aangetroffen moeten meteen (de betreffende delen van) het zwembad worden gesloten en moet het niet-resistente RVS worden vervangen voordat het bad weer geopend wordt.
Indien bij niet-resistente RVS soorten geen (put)corrosie wordt aangetroffen moet op een termijn van maximaal zes maanden het niet-resistente RVS worden vervangen of opnieuw worden geïnspecteerd.

Ad g). Een inspectie moet uitmonden in een advies voor maatregelen. Dit kan zijn een advies tot vervanging van niet-resistente of gecorrodeerde onderdelen of tot het uitvoeren van een inspectie op een bepaalde termijn.

Ad h). De bevindingen moeten worden vastgelegd in een inspectierapport dat tevens aanbevelingen doet in termen van acties (vervangen, repareren, volgende inspectie).

Nieuwbouw / verbouw
Bij nieuwbouw of verbouw van een zwembad moet voor dragende constructies in RVS in de zwembadatmosfeer gebruik maken van een van de volgende resistente RVS soorten: 1.4529, 1.4547 of 1.4565. Deze constructies moeten op een termijn van maximaal drie jaar opnieuw worden geïnspecteerd.

De inspectie moet tenminste de hiervoor genoemde onderdelen a, b, d, e, f (deel ‘Resistent RVS’), g en h omvatten.

8 Conclusies

Corrosie van roestvaststaal (RVS) in zwembaden is een actueel onderwerp door recente schadegevallen en ongelukken. Mede vanwege de veranderingen in de regelgeving is het nodig de NCC-Praktijkrichtlijn voor inspectie en onderhoud van ophangconstructies, bevestigingsmiddelen en voorzieningen in overdekte zwembaden uit 2004 te herzien. Dit deskundigenrapport geeft daartoe een aanzet.

Op grond van de NCC-Praktijkrichtlijn, de huidige regelgeving en de literatuur zijn de auteurs van dit rapport tot de volgende conclusies gekomen.

Diverse (constructie)onderdelen in zwembaden kunnen zijn opgehangen door middel van elementen van roestvaststaal (RVS). Dit betreft bv. verlaagde plafonds, ventilatiekanalen, lampen en luidsprekers. RVS is een familie van legeringen waarvan de bestandheid tegen agressieve omstandigheden afhangt van de samenstelling, met name het gehalte chroom, nikkel en molybdeen. De atmosfeer van zwembaden is door het gebruik van desinfecteringsmiddelen op basis van chloor agressief voor metalen doordat chloridehoudende zouten worden afgezet op het metaaloppervlak. Sommige soorten RVS kunnen in die omstandigheden putvormige corrosie en daarna eventueel spanningscorrosie gaan vertonen, waardoor plotselinge breuk kan optreden. De gebruikelijke soorten RVS, o.a. aangeduid als 304 en 316, zijn in zodanig agressieve omstandigheden niet-resistent; zij worden daarom volgens de huidige regelgeving niet toegestaan. Andere, hoger gelegeerde, RVS soorten zijn niet gevoelig voor corrosie in de zwembadatmosfeer, de zogenoemde resistente soorten, aangeduid met 1.4529, 1.4547, 1.4565.

In de huidige normen wordt het onderscheid tussen beide groepen RVS duidelijk gemaakt: alleen de resistente soorten zijn toegestaan voor gebruik in dragende delen in de zwembadatmosfeer. Dit geldt zonder meer voor nieuw te bouwen zwembaden.

Het is mogelijk dat in bestaande zwembaden dragende elementen van niet-resistent RVS aanwezig zijn. Daarom moeten alle zwembaden hierop worden geïnspecteerd. Een inspectie moet gericht zijn op twee aspecten: soort materiaal en corrosietoestand.

Indien alleen resistent RVS wordt aangetroffen wordt voldaan aan de regelgeving. Vanwege de relatief korte ervaring met de resistente materialen wordt aanbevolen om na drie jaar opnieuw te inspecteren. Mocht, tegen de verwachting in, corrosie van resistent RVS worden aangetroffen dan moet worden onderzocht of spanningscorrosie aanwezig is. Als spanningscorrosie wordt aangetroffen, dan moet het materiaal worden vervangen. Dit is op grond van de literatuur en de regelgeving zeer onwaarschijnlijk. Indien enige vorm van corrosie zich voordoet, dan moeten NEN en de Inspectie Transport en Leefmilieu (voor zover de producten onder CE zijn geleverd) worden gewaarschuwd.

Indien niet-resistent RVS wordt aangetroffen, is vervanging door resistent RVS of andere beschermde metalen dringend nodig. Indien niet wordt vervangen moet op

de aanwezigheid van corrosie worden gecontroleerd. Indien corrosie aanwezig is, moet worden afgekeurd, moeten de elementen worden vervangen en moeten passende maatregelen worden genomen, zoals het aanbrengen van een tweede draagweg, het afzetten van gedeelten van het zwembad of in het uiterste geval sluiting van het zwembad. Indien geen corrosie wordt aangetroffen moet op een termijn van maximaal zes maanden opnieuw worden geïnspecteerd. De kans dat binnen zes maanden corrosie tot ontwikkeling komt die tot bezwijken kan leiden is zeer klein, en wel zo klein dat wordt voldaan aan de bouwregelgeving.

RVS onderdelen in andere delen van een zwembad, met name waar het RVS in direct contact staat met het zwembadwater of waar het materiaal regelmatig nat wordt door spattend water of reiniging, zijn niet gevoelig voor spanningscorrosie. Daarom zijn de standaard soorten RVS hier wel geschikt.

9 Referenties

9.1 Normen

NEN-EN 1990+A1+A1/ C2:2011/NB:2011 nl Nationale bijlage bij NEN-EN 1990+A1+A1/C2: Eurocode: Grondslagen van het constructief ontwerp

NEN-EN 1993-1-4 (en) Eurocode 3 – Ontwerp en berekening van staalconstructies – Deel 1-4: Algemene regels - Aanvullende regels voor roestvaste staalsoorten, 2006

NEN-EN 1993-1-4/NB (en) Nationale bijlage bij NEN-EN 1993-1-4 Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies – Deel 1-4: Algemene regels - Aanvullende regels voor roestvaste staalsoorten

NEN-EN 10088-1 (nl) Roestvaste staalsoorten – Deel 1: Lijst van roestvaste staalsoorten, 2005

NEN-EN 13451-1 (en) Swimming pool equipment – Part 1: General safety requirements and test methods, 2011

NEN-EN 8700 (nl) Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestand bouwwerk bij verbouw en afkeuren – Grondslagen, 2011

9.2 Literatuur

Baddoo, N., Cutler, P., n.d (geen datum), Stainless steel in indoor swimming pool buildings, The Structural Engineer

Cutler, P., 2002, International Experience with Stainless Steels in Swimming Pools, Presented at the Netherlands Corrosion Centre and Euro Inox Seminar, Made (NL), 14 November 2002

Faller, M., Richner, P., 2003, Materials selection of safety-relevant components in indoor swimming pools, Materials & Corrosion 54, 331-338

Iversen, A., Prosek, T., 2007, Atmospheric stress corrosion cracking of austenitic stainless steels in conditions modelling swimming pool halls, Eurocorr 2007, Freiburg

Mietz, J., Isecke, B., 2001, Stainless steels for application in civil engineering, Stainless Steel World, KCI Publishing, 334-339

MIS 1203-2013, 2013, Materiaalselectie en Inspectie – Corrosiebestendige dragen materialen voor toepassing in de atmosfeer van binnenzwembaden, Heselmans.org – Corrodium BV

NCC, 2004, Praktijkrichtlijn voor inspectie en onderhoud van (ophang)constructies, bevestigingsmiddelen en voorzieningen in overdekte zwembaden, Nederlands Corrosie Centrum in samenwerking met TNO Bouw en TNO Industrie

Nürnberger, U., 1990, Spannungsrisskorrosion an Bauteilen aus nichtrostendem Stahl in Schwimmbadhallen, Stahl und Eisen 110, 141-148

Oldfield, J.W., Todd, B., 1991, Room temperature stress corrosion cracking of stainless steels in indoor swimming pool atmospheres, British Corrosion Journal, Vol. 26 no. 3, 173-182

Prosek, T., Iversen, A., Taxen, C., Thierry, D., 2009, Low-Temperature Stress Corrosion Cracking of Stainless Steels in the Atmosphere in the Presence of Chloride Deposits, Corrosion Vol. 62 no.2, 105-117

Stiphout, H.A.M. van, 2004, Inventarisatie veiligheidsproblematiek. Literatuuronderzoek, TNO rapport 42/03.009069/sec

VROM Inspectie, 2009, Inspectiesignaal. Risico's van stalen (ophang)constructies en bevestigingsmiddelen in overdekte zwembaden

Winter, P. de, 2003, Kennisinventarisatie studie naar het gebruik, het onderhoud en de inspectie van roestvast stalen ophangconstructies in overdekte zwembaden, TNO rapport 2003-BC-R0058

10 Ondertekening

Delft, 20 september 2013

Prof.Dr. R.B. Polder
Auteur

Prof.Ir. H.H. Snijder
Auteur

Ir. M.D. Stamm
Research manager
Structural Reliability

A Inhoudsopgave NCC-Praktijkrichtlijn 2004 [NCC 2004]

Inhoudsopgave

B Bepaling steekproefgrootte bij inspectie van corrosie van de ophanging van een zwembadplafond

De twee vragen die centraal staat in dit onderzoek zijn als volgt:

1. Wat is de kans dat er ergens in het zwembadplafond gecorrodeerde ophangingen aanwezig zijn als een steekproef geen ophangingen met corrosie laat zien?
2. Hoe groot moet de steekproef zijn om deze kans voldoende klein te laten zijn?

Eisen vanuit NEN 8700

NEN 8700 geeft de wettelijk minimale betrouwbaarheidseisen voor constructie(onderdelen) bij verbouw en afkeur. In paragraaf 4.3.1 is aangegeven dat dit afkeurniveau overeenkomt met een faalkans van P_f=0.0062 in de levensduur.

Bayesiaanse aanpak

De fractie goede (geen corrosie) ophangingen in het zwembad heeft een bepaalde waarde die niet bekend is (tenzij men alle ophangingen inspecteert). Met andere woorden deze fractie kan niet van te voren met zekerheid worden vastgesteld maar men kan deze fractie wel schatten.

De fractie goede ophangingen kan worden bepaald op basis van informatie uit de steekproef. De fractie goede ophangingen geeft vervolgens informatie over de kans dat een willekeurige ophanging goed is. De aanpak maakt gebruik van de Regel van Bayes en het Totale Waarschijnlijkheid Theorema.

Definities

In het vervolg van dit document worden de symbolen van Tabel 5 gebruikt.

Tabel 5. Symbolenlijst

Parameter	**Betekenis**
n	de fractie goede ophangingen, zodat n = S/P
s	aantal successen (goede ophangingen) uit steekproef
S	aantal mogelijke successen in dataset
p	steekproefgrootte
P	grootte dataset
R_i	de gebeurtenis dat een willekeurige ophanging i goed is
$P(R_i)$	kans op R_i

Regel van Bayes

Met de Regel van Bayes wordt de a-priori verdeling van de fractie goede ophangingen aangepast met de uitkomst van de steekproef. Dit wordt 'updaten' genoemd. De aangepaste verdeling wordt de a-posterioriverdeling genoemd. De Regel van Bayes is:

$$f_n(n \mid steekproef) = c \cdot P(steekproef \mid n) \cdot f_{prior}(n)$$

waarin:

f_n verdeling van de fractie goede ophangingen bij gegeven steekproefresultaat

c een constante die wordt berekend uit het feit dat de integraal van de a-posteriori verdeling gelijk moet zijn aan 1:

$$c = \frac{1}{\int_0^1 P(steekproef \mid n) \cdot f_{prior}(n) dx}$$

P(steekproef|n) aannemelijkheid van het steekproefresultaat bij gegeven fractie goede ophangingen;

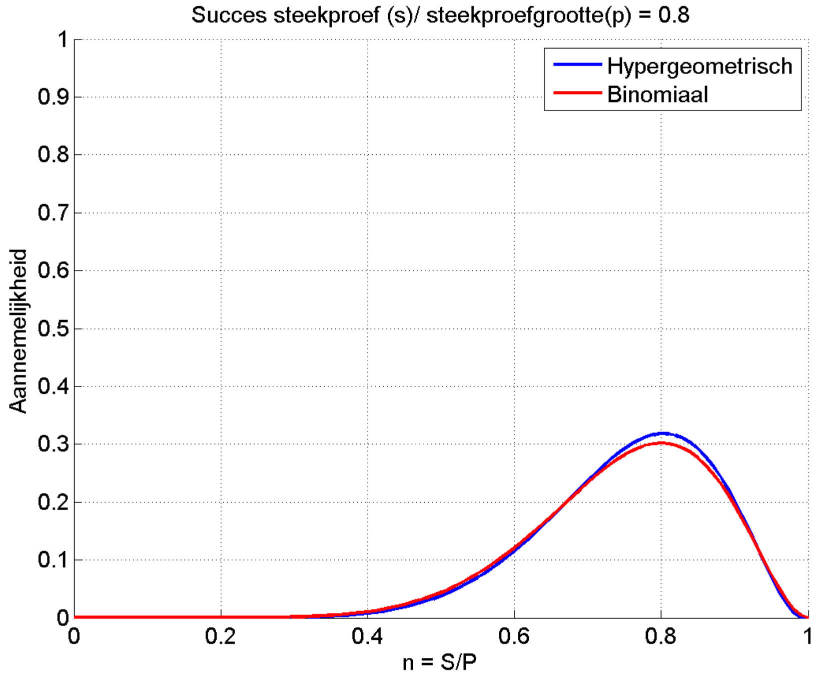
f_{prior} de a-priori verdeling

Aannemelijkheid steekproefresultaat

Het resultaat van de steekproef is dat er van *p* monsters er *p* goed zijn. De aannemelijkheid van deze uitkomst kunnen we berekenen met hypergeometrische verdeling. De hypergeometrische verdeling is met X de gebeurtenis op een aantal successen s als volgt (zie Tabel 5 voor de verklaring van de parameters):

$$P(X = s) = h(s, p, S, P) = \frac{\binom{S}{s}\binom{P-S}{p-s}}{\binom{P}{p}}$$

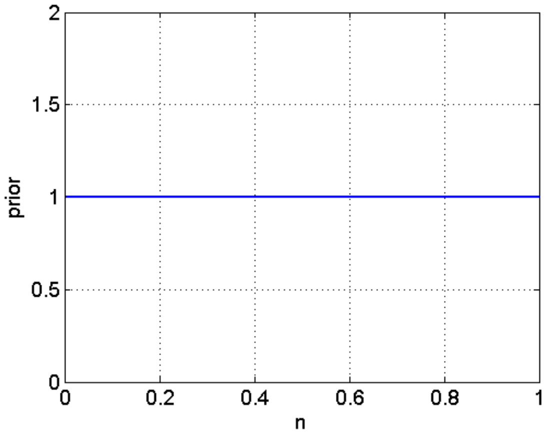
Voor grote populaties (P) is het niet mogelijk om de hypergeometrische verdeling te bepalen. Een goede benadering van de hypergeometrische verdeling bij grote populaties is de binomiale verdeling. Een voorbeeld is gegeven in Figuur 33. Deze figuur vergelijkt de berekende aannemelijkheid bepaald met beide verdelingen bij een populatiegrootte (P) van 100 en een steekproefgrootte (p) gelijk aan 10. De aannemelijkheid geeft de waarschijnlijkheid aan van de fractie goede ophangingen in de populatie (n = S/P) bij een gegeven resultaat in de steekproef (in dit geval s/p = 0.8). In de figuur is te zien dat de aannemelijkheid dat in dit geval een succesratio van 0.8 in de populatie een aannemelijkheid heeft van ongeveer 0.3. Verder is te zien dat de resultaten van zowel de hypergeometrische verdeling als van de binomiale verdeling dicht bij elkaar liggen. Dit verschil wordt nog kleiner bij grotere populaties.



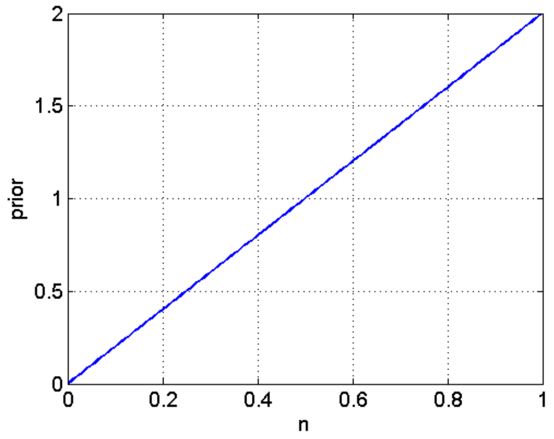
Figuur 3. Vergelijking hypergeometrische verdeling en binomiale verdeling, met P = 100, p = 10.

A-priori

De a-priori verdeling geeft de inschatting weer voor de fractie goede ophangingen voordat de test is uitgevoerd. Indien er geen er geen voorkeur is voor de fractie goede ophangingen is de prior verdeling uniform. Gezien het feit dat voordat het zwembadplafond geïnspecteerd wordt, het nog hangt en indien geen zichtbare schade of vervorming aanwezig is kan een lineaire verdeling worden aangenomen; dit betekent dat er a priori een grotere kans is op een grote fractie goede ophangingen dan op een kleine fractie goede ophangingen. Figuur 4 geeft een voorbeeld van een prior met uniforme verdeling. Figuur 5 geeft een lineaire oplopende verdeling.



Figuur 4. Voorbeeld van prior met uniforme verdeling.



Figuur 5. Voorbeeld van prior met lineaire verdeling.

A-posteriori

Met de Regel van Bayes kan de a-posteriori verdeling worden berekend.

Berekening kans op goede ophanging
We hebben nu de verdeling van de fractie goede ophangingen. De kans op een goede ophanging wordt nu berekend met het Totale Waarschijnlijkheid Theorema:

$$P(R_i \mid steekproef) = \int_{D_n} P(R_i \mid n; steekproef) \cdot f_n(n \mid steekproef) dn$$

$$= \int_{D_n} P(R_i \mid n) \cdot f_n(n \mid steekproef) dn$$

$$= \int_{D_n} n \cdot f_n(n \mid steekproef) dn$$

$$= E(n)$$

Dit komt neer op het gemiddelde E(n) bepalen van de a-posteriori-verdeling van de fractie goed (dus niet gecorrodeerd).

Resultaten

Tabel 4 geeft een overzicht van de vereiste steekproefgrootte, met 100% succes bij de steekproef (geen enkele ophanging is gecorrodeerd) bij een gegeven populatiegrootte, om de vereiste betrouwbaarheid in de populatie te halen.

Conclusie

Geadviseerd wordt om minimaal 110 ophangingen te inspecteren. Indien 110 ophangingen niet gecorrodeerd zijn kan met een kans van 0.9938 worden geconcludeerd dat het zwembadplafond geen gecorrodeerde ophangingen bevat en voldoet het daarmee aan het afkeurcriterium van CC2.

Opmerking

In voorgaande berekeningen is uitgegaan van ongecorreleerde data. Dat betekent dat er geen relatie is tussen de toestand (corrosie) van verschillende ophangingen. In werkelijkheid kan er wel degelijk een bepaalde mate van correlatie bestaan tussen de plafondophangingen in een zwembad. De omgevingsconditie, zoals luchtvochtigheid, temperatuur, luchtsamenstelling, kan in een zwembad tot op zekere hoogte uniform worden verondersteld. Dit pleit voor een (hoge) mate van correlatie. Aan de andere kant, kunnen zaken zoals bevestigingswijze en initiële defecten aan een ophanging juist leiden tot een lagere mate van correlatie. Het ligt voor de hand aan te nemen dat de waarden in Tabel 4 daarom conservatief zijn.